

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

Літвиненко Марія Владиславна

УДК 621.914:681.7.023.4-036.7

**ПІДВИЩЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧНИХ ПОЛІСТИРОЛЬНИХ ВИРОБІВ,
ОТРИМАНИХ ФРЕЗЕРУВАННЯМ**

Спеціальність 05.03.01 - процеси механічної обробки,
верстати та інструменти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2004

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі “Різання матеріалів та різальні інструменти” Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: Доктор технічних наук, професор
Верзуб Микола Володимирович,
Національний технічний університет
“Харківський політехнічний інститут”,
професор кафедри “Різання
матеріалів та різальні інструменти”.

Офіційні опоненти: Доктор технічних наук, професор
Лупкін Борис Володимирович,
Національний аерокосмічний університет
ім. М.Є. Жуковського “Харківський авіаційний
інститут”,
професор кафедри “Технологія виробництва
літальних апаратів”

кандидат технічних наук, доцент
Тарасюк Андрій Петрович,
Українська інженерно – педагогічна академія,
м. Харків,
проректор з навчальної роботи

Провідна установа: Запорізький національний технічний університет
Міністерства освіти і науки України,
м. Запоріжжя

Захист відбудеться “1” липня 2004 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.12 у Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”.

Автореферат розісланий “29” травня 2004 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 64.050.12

Пермяков О.А.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сьогодні у різних галузях науки і техніки, в тому числі фізиці високих енергій, оптико-волоконного зв'язку, медицині знайшли широке застосування оптичні сцинтиляційні полімери, що характеризуються різноманітною номенклатурою виробів. Наявність люмінесцируючих наповнювачів у хімічному складі оптичних полімерів приводить до ефекту сцинтиляції – випромінюванню під дією різного виду енергії (дія світлових потоків, радіація і т.і.).

Ефект сцинтиляції використовується при створенні нових детекторних установок для досліджень в галузі фізики високих енергій. Дані установки створюються на базі нових технологій виготовлення сцинтиляційних виробів, які відповідають усім вимогам умов експлуатації в детекторних системах. Існуючі типи сучасних оптичних виробів отримують, як правило, шляхом механічної обробки, що формує остаточні функціональні характеристики виробів (на частку фрезерування припадає близько 70-80 % усієї механічної обробки). Так, наприклад, активна основна частина великогабаритної детекторної установки CMS, розробленої для реєстрації всіх типів часток, складається з 32000 механічно оброблених сцинтиляційних полістирольних пластин типу “Tile” зі складнопрофільними канавками, підготовленими під світловод.

Стабільно високі світлові характеристики (прозорість, світлопоглинання і випромінювальна здатність) при максимальних термінах експлуатації полімерних виробів забезпечуються комплексом параметрів якості, що характеризують мікронерівність, поверхневий шар і, як випадок, високу точність виготовлення. Для досягнення необхідних технічних вимог виробів та високих світлових характеристик принципову важливість мають параметри якості робочих (зовнішніх та внутрішніх) поверхонь виробів, що вимагають застосування спеціальних технологічних рішень.

Питання технологічного забезпечення необхідної точності і мікрогеометрії виробів, підвищення працездатності різального інструменту потребує подальшого вивчення. Це дозволить оптимізувати умови лезової обробки оптичних полімерів і разом з дослідженнями стану поверхневого шару та його впливу на функціональні властивості дасть можливість забезпечити високі експлуатаційні характеристики оптичних полімерних виробів.

Актуальність розглянутого питання підтверджується широким розповсюдженням оптичних виробів. Покращення якості поверхневого шару та експлуатаційних характеристик виробів забезпечить підвищення процесу експлуатації оптичних полістирольних виробів у цілому, гарантуючи їх конкурентоздатність на внутрішньому та зовнішньому промислових ринках (Японія, США, Швейцарія, Франція).

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Виконання дисертаційної роботи пов'язано з держбюджетною науковою тематикою кафедри “Різання матеріалів та різальні інструменти” Національного

технічного університету “Харківський політехнічний інститут” по темам М2225 (ДРН№0101U001799) “Розробка концепції і створення експертної системи з вибору оптимальних параметрів прецизійних процесів обробки оптичних виробів”, 2001-2003 р.р., М2228 (ДРН№0104U003014) “Створення концепції керування і забезпечення якості прецизійних оптичних виробів на основі системного підходу”.

Основні результати дисертації пов'язані з виконанням держбюджетної наукової теми відділу “Пластмасових сцинтиляторів” Інституту сцинтиляційних матеріалів НАН України, “Розробка технології обробки пластин сцинтиляторів методом алмазного мікрофрезерування” (ДРН№010111004956).

Мета і задачі дослідження. Ціль дисертаційної роботи – забезпечення параметрів макро-, мікрогеометрії поверхні, поверхневого шару оптичних полістирольних виробів, що гарантують високі функціональні та експлуатаційні властивості (коефіцієнт внутрішнього відображення, довговічність), шляхом призначення раціональних умов процесу фрезерування.

Реалізація поставленої мети містить у собі рішення наступних задач:

- підвищення працездатності дрібнорозмірного різального інструменту зі швидкорізальної сталі при фрезеруванні внутрішніх поверхонь виробів з полістиролу;
- дослідження точності обробки оптичних полістирольних виробів при фрезеруванні з урахуванням пружного відновлення матеріалу;
- розробка експериментально-теоретичної методики контролю й оцінки мікрогеометрії поверхні оптичних виробів на основі теорії випадкових процесів;
- дослідження поверхневого шару оптичних виробів після механічної обробки;
- дослідження впливу 3D мікрогеометрії і стану поверхневого шару на експлуатаційні властивості оптичних полістирольних виробів.

Об'єкт дослідження – процес фрезерування оптичних полістирольних виробів.

Предмет дослідження – формування поверхневого шару оптичних полістирольних виробів при фрезеруванні та його вплив на експлуатаційні характеристики.

Методи дослідження – теоретичні та експериментальні дослідження базуються на положеннях теорії різання, фізико-хімічної теорії контактної взаємодії інструментального та оброблюваного матеріалів. На основі теорії міцності і теорії зносу оцінювалась працездатність дрібнорозмірного (до 2 мм) різального інструменту при обробці внутрішніх поверхонь полістирольних виробів. Експериментальні дослідження природи зносу дрібнорозмірного інструмента зі швидкорізальної сталі проводилися за методикою кількісного визначення хімічних елементів у матеріалі по співвідношенню інтенсивностей піків комптонівського та релеєвського розсіювання.

Експериментальні дослідження мікрогеометрії поверхні і оцінка точності полістирольних виробів після фрезерування базуються на теорії імовірності й математичної статистики.

Для визначення коефіцієнта внутрішнього відображення оптичних виробів використовувалася методика, заснована на багаторазовому внутрішньому відображенні світлового променя при різних кутах відображення.

Вірогідність досліджень підтверджена практикою й статистичною оцінкою результатів. Робота виконувалася за допомогою сучасних засобів комп'ютерної техніки.

Наукова новизна отриманих результатів:

– Отримано нові залежності параметрів якості від умов процесу фрезерування і встановлено вплив цих параметрів на експлуатаційні характеристики, що враховують специфіку полістирольних виробів типу “Tile” зі складним профілем. Рекомендації, засновані на цих залежностях, гарантують одержання виробів заданої якості.

– Встановлено, що знос дрібнорозмірних двозубих кінцевих фрез зі швидкорізальної сталі в умовах стиснутого різання при обробці внутрішніх поверхонь має усталостно механічний характер, обумовлений окрихкуванням різальної кромки внаслідок адсорбування атомарного незв'язаного водню при температурі 60–70°С. В результаті працездатність різального інструменту знижується в 2–2,5 рази. Вільний водень утворюється в результаті механохімічної деструкції полістиролу.

– Розроблено нову методику і комплексний підхід до контролю та оцінки мікрогеометрії оброблених поверхонь, які базуються на 3D представленні мікропрофілю і теорії імовірностей, та пов'язують технологічні (R_a , R_z), фізичні (R_2) і математичні (ν , σ , η_α) характеристики, що забезпечує ефективну оцінку якості оптичних поверхонь.

– Вперше встановлено вплив шорсткості внутрішньої поверхні канавки на світлозбір. Шорсткість поверхні канавки $R_a=0,7...1,0$ мкм забезпечує заданий діапазон значень коефіцієнта внутрішнього відображення. Не підтвердилося існуюче припущення про збільшення коефіцієнта внутрішнього відображення за рахунок полірування канавки.

– Вперше на основі методики пошарового виміру мікротвердості проведено оцінку глибини зміненого шару оптичних виробів після механічної обробки. Встановлено, що при фрезеруванні інструментом з природного алмазу величина зміненого шару мінімальна і складає 0,015 мм, для порівняння при обробці інструментом з синтетичного алмазу – 0,03 мм, твердого сплаву – 0,05 мм.

– Запропоновано алгоритм забезпечення нового рівня експлуатаційних властивостей, що базується на виявлених фізичних і технологічних закономірностях процесу фрезерування виробів з полістиролу.

Практичне значення одержаних результатів:

– У процесі проведення комплексу досліджень одержано результати, що дозволили підвищити ефективність процесу фрезерування виробів з полістиролу і забезпечити одержання виробів з високим рівнем якості поверхневого шару та функціональних характеристик.

– Запропоновано рекомендації з вибору режимів обробки дрібнорозмірним різальним інструментом зі швидкорізальної сталі, призначеного для фрезерування канавок під світловод, з урахуванням експериментально встановленої величини пружного відновлення полімерного матеріалу. Ці рекомендації дозволили забезпечити необхідну якість поверхні канавок і точність виготовлення полістирольних виробів.

– Результати по дослідженню природи зносу різального інструменту, а також впровадження у виробництво методів його зниження, дозволили збільшити його працездатність і зменшити фінансові витрати.

– Запропоновано методику контролю й оцінки якості механічно обробленої поверхні, що базується на теоретико-імовірному підході, яка гарантує ефективну оцінку якості поверхонь оптичних виробів на виробництві.

– Вивчено вплив якості обробленої поверхні канавки, підготовленої під світловод, на величину коефіцієнта внутрішнього відображення. На підставі проведених досліджень встановлено оптимальні параметри шорсткості для плоских зовнішніх поверхонь ($R_a < 0,06$ мкм) і внутрішньої поверхні канавки ($R_a = 0,7...1$ мкм). Визначено умови обробки, що забезпечують високі функціональні показники оптичних виробів.

Результати проведених досліджень реалізовані при виробництві плоских полістирольних виробів “Tile” для будівництва андронного калориметра CMS (CERN, Швейцарія).

Особистий внесок здобувача. У представленій роботі внесок здобувача полягає у постановці задачі, розробці методів її розв’язання, що пов’язані з проведенням досліджень працездатності дрібнорозмірного різального інструмента і впливу параметрів мікрогеометрії поверхні та поверхневого шару на функціональні та експлуатаційні характеристики оптичних полістирольних виробів; обробці одержаних результатів; формулюванні висновків за розділами і загальних висновків з усієї дисертаційної роботи.

Апробування результатів дисертації. Основні наукові результати роботи доповідалися й обговорювалися: на IX, X і XI міжнародних науково-практичних конференціях “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я” Micro CAD (м. Харків, 2001, 2002 і 2003 р.р); XI, XII і XIII міжнародних науково-технічних семінарах “Інтерпартнер” (м. Алушта, 2001–2003 р.р.); науково-технічному семінарі “Семковські молодіжні наукові читання” (м. Харків, 2001 і 2002 р.р.); першій обласній конференції молодих науковців “Тобі Харківщино – пошук молодих” у межах обласного форуму “ОСВІТА, НАУКА, ВИРОБНИЦТВО – ШЛЯХИ ІНТЕГРАЦІЇ” (м. Харків, 2002 р.).

Практичні результати роботи впроваджені в Інституті сцинтиляційних матеріалів (ІСМА) НАН України при виробництві плоских сцинтиляційних виробів “Tile” для будівництва андронного калориметра CMS (CERN, Швейцарія).

Публікації. Результати виконаних досліджень опубліковані в 7 статтях фахових наукових видань відповідно переліку ВАК України (з них 2 – без співавторів), 4 тезах доповідей на науково-технічних конференціях і 3 науково-технічних звітах по НДР.

Структура й обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, шести розділів, висновків, трьох додатків. Повний обсяг дисертації – 181 сторінка, з них 47 ілюстрацій по тексту, 5 ілюстрацій на 5 сторінках, 18 таблиць, 4 додатка на 21 сторінках, 133 найменувань використаних літературних джерел на 12 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульовані мета і задачі дослідження, показані наукова новизна і практичне значення результатів, що одержані при виконанні роботи, надана інформація з апробації результатів.

У першому розділі розглянуті основні фізико-хімічні властивості оптичних полімерів, галузі застосування оптичних полімерних виробів і існуючі технології їхнього виробництва, проведено огляд фізичних особливостей процесу різання полімерів.

Аналіз літературних джерел показав, що оптичні полімери на основі полістиролу, отримані шляхом полімеризації відповідних мономерів з добавкою люмінесцируючих наповнювачів, під дією світлових потоків, радіації, прискорених елементарних часток, характеризуються високими випромінюючими (сцинтилюючими) властивостями. Це робить перспективним використання оптичних полімерних виробів у дослідженнях фізики елементарних часток, спрямованих шляхом збільшення енергетичних характеристик часток.

Для рішення цих задач створюються спеціальні великогабаритні дорогі детектори, одним із представників яких є детектор загального призначення CMS (Compact Muon Solenoid), розроблений для реєстрації всіх типів часток. CMS складається з великої кількості функціонально самостійних детекторних пристроїв – механічно оброблених полістирольних пластин “Tile” зі складнопрофільними дрібнорозмірними канавками (рис.1). Механічна обробка формує остаточні функціональні характеристики цих виробів. Зовнішня поверхня “Tile”» обробляється алмазною однозубою фрезою, а внутрішня поверхня канавки під світловод формується кінцевими швидкорізальними фрезами малого діаметра.

Вивчення робіт вітчизняних (Г.А. Гороховського, В.І. Дрожжина, М.В. Верезуба, В.Г. Сенчишина, С.М. Лавриненка, Г.Г. Добровольського та ін.)

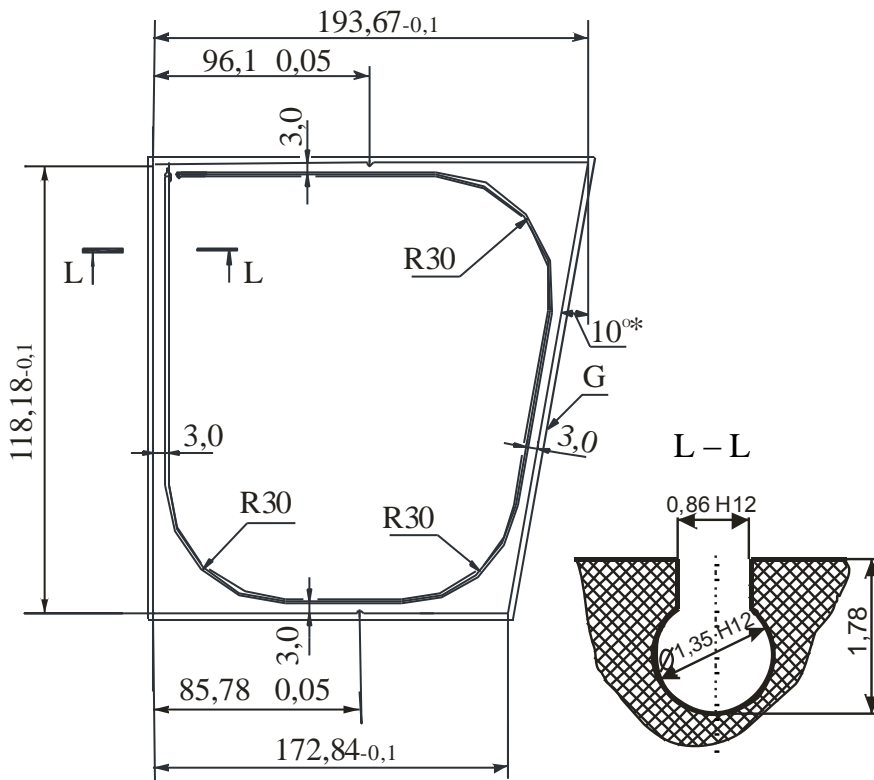


Рис. 1. Типовий ескіз виробу "Tile"

і закордонних учених (А. Кобаяші, А. Камогави, І. Нарисави, Г. Цуга, Г. Шпура, Дж. Армарега), що стосовно механічної обробки полімерних матеріалів свідчить про те, що найбільш сприятливі умови для формування високої якості поверхневого шару полімерів забезпечуються, як правило, при наявності непорушеної структури заготівлі різальним інструментом із природного алмаза у зоні низьких і високих швидкостей різання з мінімальними перетинами зрізу.

Але ці дані, ймовірно, за все, можуть бути використані як середні значення, тому що при обробці полімерів розходження в складі введених добавок вимагають зміни умов обробки.

Одне з основних вимог, пропонованих до "Tile", це реєстрація сцинтиляційного сигналу, рівень якого у визначеній мірі залежить від світловиходу системи "виріб-волокно", що забезпечується необхідним рівнем якості поверхні виробів і оптимальним оптичним контактом поверхні канавки виробів зі світловодом. У літературі практично відсутні роботи, зв'язані з процесом обробки дрібнорозмірним кінцевим інструментом полімерних оптичних виробів. Питання впливу пружних властивостей полімерних матеріалів на точність обробки до сьогодні також залишаються вивченими недостатньо.

У наукових працях відсутні дослідження стану поверхневого шару оптичних виробів при механічній обробці зовнішньої і внутрішньої поверхонь і його впливу на функціональні характеристики та їхню довгострокову стабільність. Створення конкурентоздатних оптичних сцинтиляційних виробів "Tile" вимагає удосконалювання технології механічної обробки, що обумовлює необхідність проведення подальших досліджень.

Наприкінці розділу подано методичне забезпечення роботи, яке включає ряд загальноприйнятих (методика виміру шорсткості поверхні, методика дослідження довгострокової стабільності, методика визначення коефіцієнта внутрішнього відображення оптичних виробів) і оригінальних методик.

Для дослідження якості поверхонь оптичних виробів при механічній обробці розроблена методика оцінки якості поверхні, що базується на теорії імовірностей, в основі якої лежить комплексний підхід до проблеми контролю та оцінки мікрогеометрії поверхонь.

Уперше для оцінки величини зміненого шару оптичних виробів після механічної обробки у роботі запропоновано використовувати методику пошарового виміру мікротвердості, як найбільш простий і чутливий метод визначення кількісних параметрів порушеного шару оптичних виробів.

Дослідження природи зносу дрібнорозмірного різального інструмента проводилося з використанням методики кількісного визначення хімічних елементів у матеріалі.

Другий розділ присвячений вивченню особливостей зносу дрібнорозмірного різального інструмента і дослідженню його стійкості при фрезеруванні канавок.

Широка і все зростаюча номенклатура полімерних виробів різної конфігурації (до 20% це вироби зі складнопрофільними канавками дрібного розміру), що сформувалася в останні п'ять років, вимагає застосування дрібнорозмірного різального інструменту.

Таким чином, питання стосовно працездатності дрібнорозмірних кінцевих фрез, використаних при обробці канавок (рис. 1) полістирольних виробів, здобувають значний практичний інтерес.

На основі існуючих рекомендацій і практичних даних проведено вибір геометричних параметрів і розрахунок характеристик міцності двозубого дрібнорозмірного різального інструмента зі швидкорізальної сталі. Встановлено, що при обробці паза двозубими дрібнорозмірними фрезами з Р6М5 головна складової сили різання не повинна перевищувати значення $P_z < 3,5N$, а висота зуба фрези повинна мати мінімальну висоту ($H_{\min} = 0,27t_{\text{окр}}$, де $t_{\text{окр}}$ – окружний крок зубів, обчислений за формулою $t_{\text{окр}} = \pi d/z$).

У ході роботи встановлено, що основною причиною втрати різальної здатності дрібнорозмірного інструмента зі швидкорізальної сталі є знос по задній поверхні у результаті контактної взаємодії його робочих поверхонь та оброблюваного матеріалу.

Виходячи з вимог, висуваємих до якості обробленої поверхні канавки виробу “Tile” і стійкості дрібнорозмірного інструмента, величина зносу по задній поверхні не повинна перевищувати 0,25 мм (рис. 2, рис. 3). Отримані графічні залежності вказують, що при значеннях h_3 більш 0,25 мм має місце чимале збільшення шорсткості обробленої поверхні однозначно зі збільшенням головної складової сили різання P_z , що веде до зниження міцності різального інструменту.

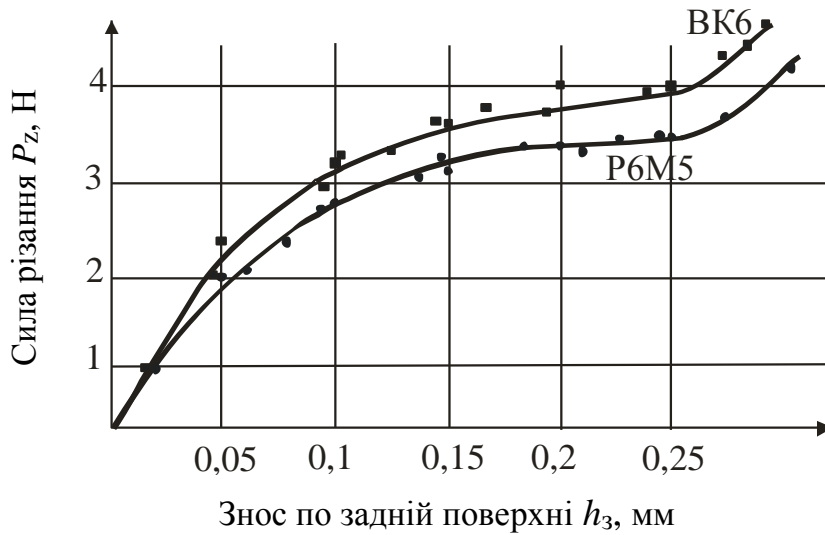


Рис. 2. Залежність сили різання P_z від величини зносу h_3

Великий експериментальний матеріал показав, що дрібнорозмірні кінцеві фрези зі швидкорізальної сталі при обробці канавки полістирольних виробів мають низьку зносостійкість (у $2 \div 2,5$ рази нижче величини, приведеної в довідковій літературі для швидкорізального інструмента при обробці площин полімерних виробів). У роботах В.І. Дрожжина, Л.С. Кравченка, М.В. Вerezуба, С.М. Лавриненка розглядалися окремі питання, зв'язані зі зносом різального інструменту при обробці полімерів. Проте ці автори не аналізували сполучення “дрібнорозмірний інструмент – полістирол”.

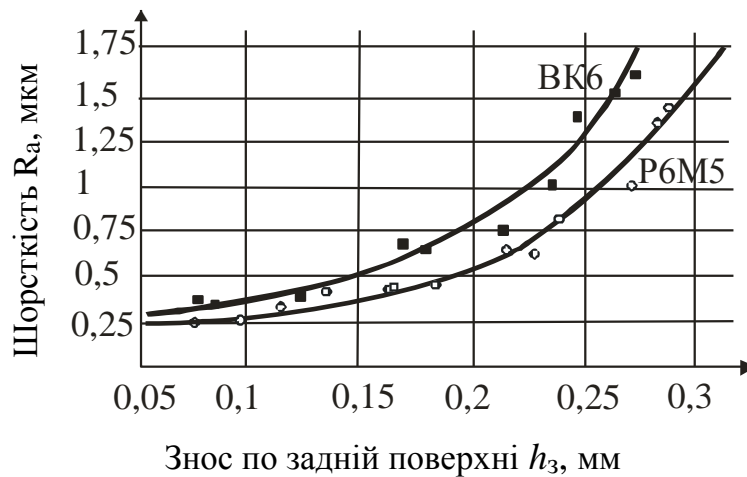


Рис. 3. Вплив величини зносу кінцевих фрез h_3 на шорсткість обробленої поверхні канавки виробу “Tile”

Інтенсивний знос кінцевих фрез при обробці канавки обусловлюється стиснутими умовами різання. Спираючись на результати досліджень А.А. Полякова, яким встановлено, що внаслідок контактної взаємодії поверхонь пари тертя – метал-полімер при визначених температурах водень може виділятися з полімеру і, адсорбуючись на поверхні, поглинатися поверхневим шаром металу, в роботі розкрито характер зносу дрібнорозмірного інструмента

зі швидкорізальної сталі при обробці внутрішніх поверхонь оптичних полістирольних виробів.

Незв'язаний водень легко адсорбується поверхнею сполученого металу при температурі 70°C та проникає в пори і мікротріщини інструментального матеріалу, приводячи до окрихкування різальних кромek інструмента, що сприяє істотному зниженню працездатності різального інструменту зі швидкорізальної сталі. З метою експериментального підтвердження цього явища проведені експерименти на наявність водню у інструменті зі швидкорізальної сталі Р6М5 після заточення та у зношеному інструменті.

Дослідження проводилися за методикою кількісного визначення елементів у матеріалі по співвідношенню інтенсивностей піків комптонівського I_K і релеєвського I_R розсіювання, розробленої в НТУ “ХПІ”. Експериментально встановлено у зношеному інструменті наявність легкої домішки, внаслідок чого змінилась інтенсивність на 4,2 % (стосовно інтенсивності, отриманої при дослідженні інструмента після заточення), що відповідає розчиненню 0,5 масових відсотків водню в металі.

На основі одержаних результатів рекомендовано використовувати, як інструментальний матеріал твердий сплав (наприклад, ВК), а також природний або синтетичний алмаз. На відміну від інструменту зі швидкорізальної сталі твердосплавний і алмазний мають більш міцну хімічну структуру і менш сприйнятливі до впливу на них водню. Проте виготовити дрібнорозмірні кінцеві фрези з твердого сплаву або алмаза технічно складно.

Одним із шляхів зниження наводнювання металу при терті об полімер є введення в зону контакту поверхово активних речовин (ПАР), що зв'язували б водень у міцну хімічну сполуку, яка нерозкладається при високій температурі. Але практично всі застосовані ПАР приводять до деякого погіршення якості поверхневого шару оптичних полістирольних виробів.

Знизити інтенсивність водневого зносу може охолоджене чисте повітря, подане в зону різання. Даний метод є найбільш перспективним. Використання повітря і частково наявність вільного простору в зоні контакту оброблюваного та інструментального матеріалів приводить до збільшення на 25 % стійкості інструменту у порівнянні зі стійкістю кінцевих фрез, що працюють у стиснутих умовах різання без повітря.

У третьому розділі представлені результати аналізу точності лінійних розмірів “Tile”, які безпосередньо впливають на збирання “Megatile” (рис. 4) – механічно зв'язані сектори кільцевих шарів калориметра детекторної установки, а також результати дослідження впливу умов обробки на точність виготовлення “Tile”.

Аналіз погрешностей, що виникають при обробці полімерів, дозволив виділити найбільш значущі фактори, що впливають на точність готових виробів: знос різального інструмента і пружне відновлення полімерів. Пружні властивості полімерів значно вище, ніж у металів, і цей факт вимагає пильної уваги при проектуванні технологічного процесу “Tile”. Так, профрезерований паз завжди менше, ніж діаметр фрези.

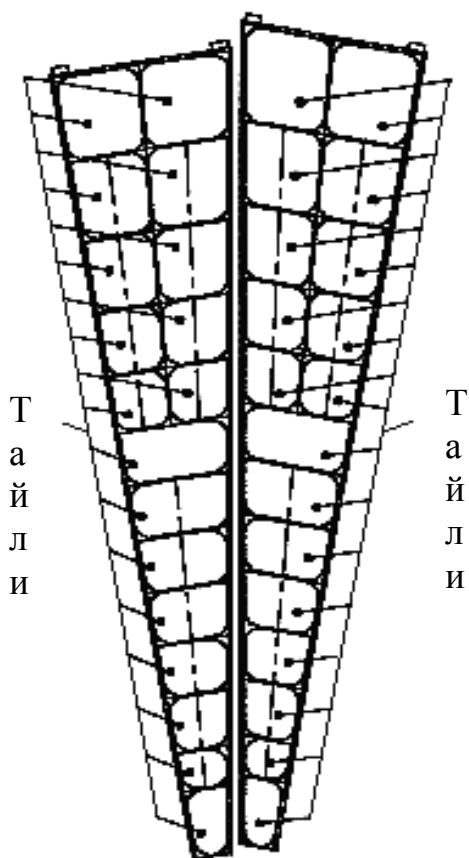


Рис. 4. Вироб "Megatile"

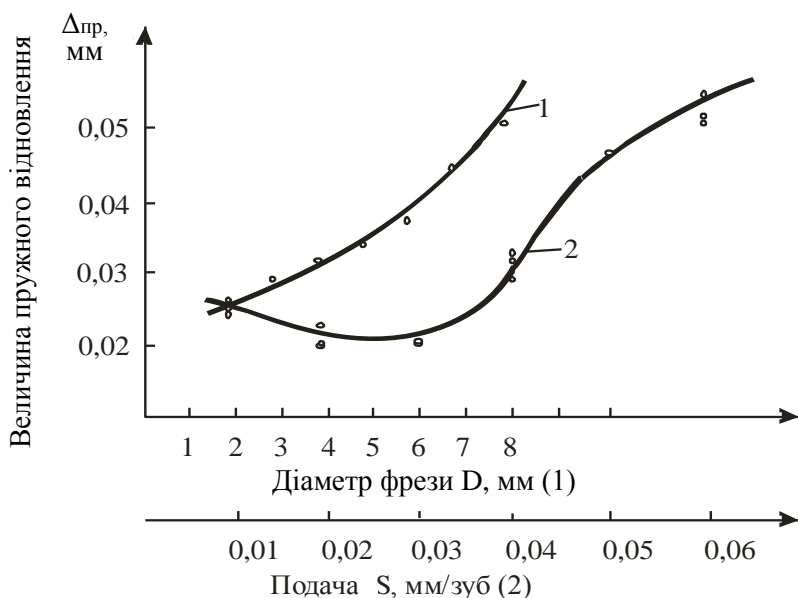


Рис. 5. Вплив діаметра кінцевої фрези і величини подачі на пружне відновлення полістирольного зразка

величину (до 0,1 мм). Величина пружного відновлення також зростає зі збільшенням діаметра фрези.

Результати досліджень дозволили установити, що в розглянутому технологічному процесі мінімальна величина $\Delta_{пр}$ коливається в межах

Досліджено вплив діаметра кінцевої фрези і величини подачі на пружне відновлення полістирольного зразка (рис. 5). При подачах $S_z < 0,02$ мм/зуб переважний вплив із усіх технологічних факторів робить саме температура в зоні різання. Величина зрізаного шару недостатня для відводу тепла, яке виникає при різанні, що приводить до утворення зон перетворень з різко підвищеним тепловим розширенням.

В інтервалі подач $0,02 \div 0,03$ мм/зуб має місце оптимальне сполучення технологічних факторів: площі перетину зрізу, температури і деформації оброблюваного матеріалу, що забезпечує мінімальну величину пружного відновлення полімерного матеріалу.

При подальшому збільшенні S_z збільшується площа перетину зрізу, що приводить до росту сил різання однозначно збільшуючи деформацію оброблюваного матеріалу в шарах розташованих як перпендикулярно, так і уздовж напрямку різання. Це викликає спучування полімерного матеріалу і здійснює пружне відновлення обробленої поверхні на значну

10-20 мкм. При допуску на деталь у 100 мкм величина $\Delta_{\text{пр}}$ складає 10-20 % від величини допуску.

За одержаними результатами проведене підналагодження технологічного процесу, що забезпечило збільшення точності лінійних розмірів виробів “Tile” (кількість браку знизилася до 1÷1,5 %) і дозволило одержати 100% зборку “Megatile”.

У четвертому розділі запропонований новий підхід до контролю та оцінці якості поверхні оптичних полімерних виробів після механічної обробки.

Для забезпечення високих функціональних характеристик розглянутих виробів потрібно одержання поверхні високої якості. Вплив її шорсткості на різні фізико-хімічні явища (старіння, зміни функціональних характеристик і т.і.), які протікають при експлуатації полімерних виробів, дуже великий.

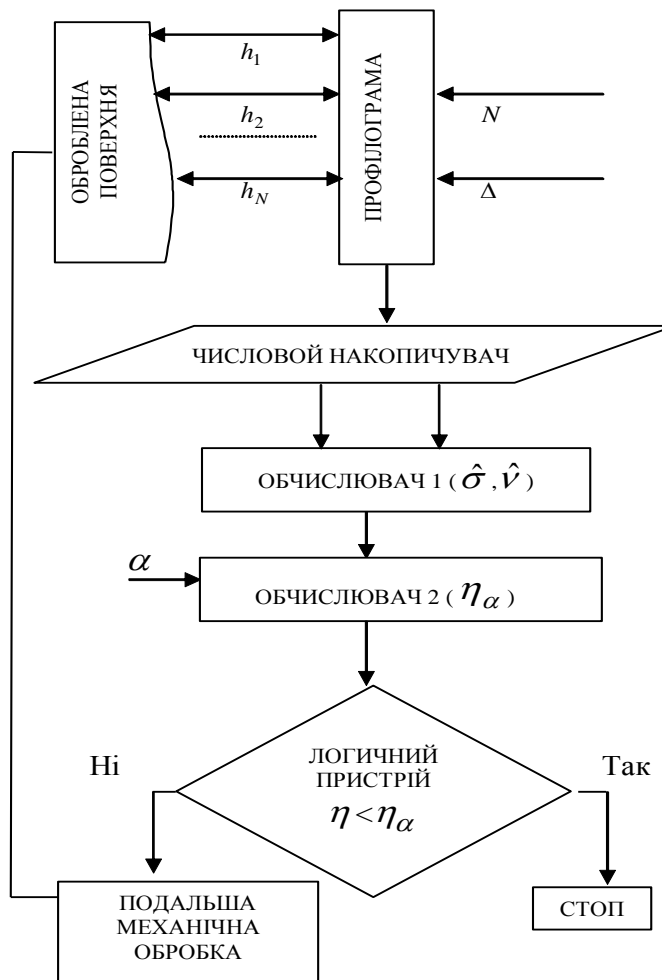


Рис. 6. Алгоритм контролю та оцінки мікрогеометрії оптичних виробів на основі теорії випадкових процесів

теоретико-імовірного підходу є представлення профілю поверхні як реалізації випадкового процесу.

У створюваній моделі параметри шорсткості поверхні будуть функціоналами, заданими на безлічі реалізацій випадкової функції. У якості

Установлено, що при однаковій величині R_a в залежності від умов обробки, спостерігається різна величина коефіцієнта внутрішнього відображення R_2 . Особливості форми і розташування нерівностей мають не менший вплив на функціональні властивості, чим висота самих нерівностей. Вони можуть сприяти порушенню внутрішнього відображення поверхонь оптичних виробів за рахунок розсіювання світлового пучка і зниження світлового виходу оптичних полімерів.

У зв'язку з тим розроблено методику оцінки якості оптичних полімерних виробів, що дозволяє враховувати оптичні характеристики при контролі мікрогеометрії поверхні.

На рис. 6 представлений алгоритм контролю та аналізу мікрогеометрії оптичних виробів на основі теорії випадкових процесів. Основною ідеєю

математичної моделі шорсткості використовується дискретний квадратичний функціонал

$$J_x = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^N x^2(n\Delta),$$

де $x = x(n\Delta)$ – дискретна послідовність аргументних точок;
 $n = 0, 1, \dots, N$ – номер елемента вибірки;

Δ – крок вимірів ($\Delta = L/N$, де L – довжина інтервалу вимірів).

На основі даних, одержаних з оціфрованих профілограм оброблених поверхонь, робиться розрахунок оцінок параметрів шорсткості: $\hat{\sigma}$ – середньоквадратичного відхилення (СКО); $\hat{\nu}$ – декремента згасання (“обчислювач 1”). Для визначення декремента згасання використовується методика, заснована на кореляційному аналізі.

У “обчислювачі 2” з урахуванням порога значущості α розраховуємо критичне граничне значення критерію якості η_α згідно функціональним характеристикам. Поріг значущості α являє собою відсоток кількості браку, що допускається на виробництві. Величина η_α характеризує оброблену поверхню оптичного полімерного виробу з гранично припустимим коефіцієнтом внутрішнього відображення $R_2 = 0,86$ отн.ед. та гранично припустимою якістю обробленої поверхні полімерних оптичних виробів.

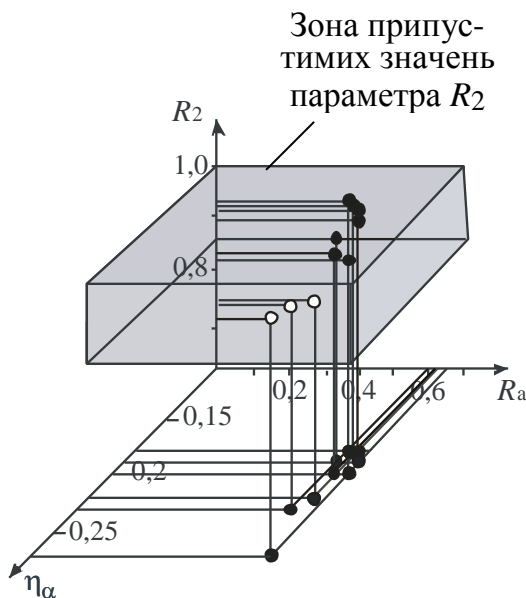


Рис. 7. Зв'язок параметра шорсткості R_a , коефіцієнту внутрішнього відображення R_2 та критерія якості η

Для знаходження граничного значення η_α будується інтегральний закон щільності розподілу багатоточечного функціонала J_x , при цьому використовується апарат, заснований на обчисленні його характеристичної функції $Q(\lambda)$

Розроблена методика, в основі якої лежить комплексний підхід до проблеми контролю та оцінки мікрогеометрії оброблених поверхонь. Цей підхід пов'язує технологічний (R_a , R_z), фізичний (R_2) і математичний (ν , σ , η) аспекти. Він запропонований нами для оцінки мікрогеометрії оптичних поверхонь в умовах виробництва.

На основі, одержаних результатів встановлено зв'язок параметра шорсткості R_a , коефіцієнта внутрішнього

відображення R_2 і критерія якості η . На рис. 7 представлені результати оцінки якості поверхні полімерних оптичних виробів, отриманих за допомогою розробленої методики. Так, з десяти досліджених полімерних зразків, що мають шорсткість поверхні $R_a = 0,06 \pm 0,003$ мкм, три зразки характеризуються критерієм якості η , значення якого перевищує η_α . Цим зразкам відповідають

білі крапки, які не потрапили в заштриховану область, гарантуючу високу якість обробленої поверхні оптичних полімерних виробів. Визначено, що великим значенням η відповідають менші значення R_2 , тобто ріст значень квантиля характеризується зниженням коефіцієнта внутрішнього відображення.

У п'ятому розділі представлені результати досліджень: впливу 3D мікрогеометрії поверхні на оптичні втрати в полістирольних виробах, впливу умов механічної обробки на експлуатаційні властивості виробів з полістиролу.

На основі методики дослідження оптичних втрат у полімерних виробах і розробленій методиці контролю та оцінки мікрогеометрії оброблених поверхонь встановлено, що високий коефіцієнт внутрішнього відображення ($R_2 = 0,8 - 0,96$ отн.ед.; $\eta = 0,19$) забезпечує процес алмазного фрезерування (рис. 8).

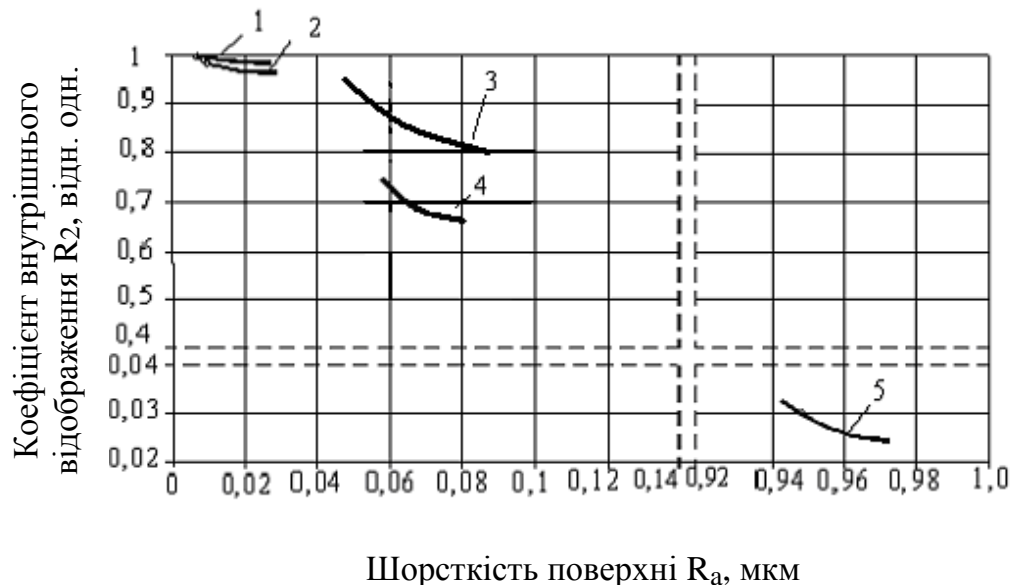


Рис. 8. Залежність коефіцієнта внутрішнього відображення R_2 від параметру шорсткості R_a :

- 1 – лиття між скло; 2 – полірування після алмазного фрезерування; 3 – алмазне фрезерування; 4 – шліфування;
- 5 – фрезерування однозубою фрезою (BK8)

Процес алмазного фрезерування дозволяє забезпечити мінімальний вплив температури на поверхневий шар полімеру, внаслідок високої теплопровідності алмазного інструменту, упорядкована структура якого дозволяє одержати мінімальний радіус округлення різальних кромки і мінімальну шорсткість робочих поверхонь різального клина, забезпечуючи стабільність процесу різання. Відомо, що при алмазному фрезеруванні формується переважно регулярний мікропрофіль, а це сприяє оптимальному ходові променів з незначними втратами в напрямку ходу світлового пучка.

При механічній обробці поверхневий шар полістирольних виробів здобуває мікротвердість, відмінну від мікротвердості вихідного матеріалу.

Нестабільність фізико-механічних властивостей поверхневого шару – це одна з причин погіршення функціональних (поява тріщин срібла, зниження коефіцієнта внутрішнього відображення R_2) і експлуатаційних (зниження довговічності) характеристик оптичних виробів, внаслідок чого створюються передумови їхнього передчасного виходу з ладу при експлуатації. Ця проблема особливо актуальна для полімерних виробів, до яких належать полістирольні пластини “Tile”, які експлуатуються протягом тривалого часу в закритих обсягах з обмеженим доступом.

Уперше проведена оцінка величини зміненого поверхневого шару полімерних виробів за методикою пошарового видалення матеріалу з виміром мікротведрості кожного шару. Результати оцінки показали, що після чорнового фрезерування інструментом із твердого сплаву величина зміненого шару складає 0,05 мм, після напівчистового фрезерування інструментом із синтетичного алмаза – 0,03 мм. Установлено, що алмазне фрезерування забезпечує стабільний процес формування поверхневої структури полімерного матеріалу і мінімальну величину зміненого шару – 0,015 мм.

Наукове і практичне значення має проведене нами дослідження впливу зміненого поверхневого шару на експлуатаційні властивості оптичних виробів. Знання величини і характеру даного впливу дозволяє прогнозувати довгострокову стабільність функціонування виробів. Аналіз одержаних результатів іспиту зразків з полістиролу на тріщиностійкість показав, що стійкість до розтріскування зразків, оброблених алмазним інструментом, на 20 % перевищує стійкість зразків, оброблених інструментом із синтетичного алмаза, і більше у два рази при обробці твердосплавним інструментом.

Установлення зв'язку між умовами механічної обробки і величиною зміненого шару дозволить визначити оптимальні умови обробки (матеріал різального інструменту, його геометричні параметри й режими різання), що забезпечить мінімальні значення величини зміненого шару оптичних полістирольних виробів та їх експлуатаційну надійність.

Аналізуючи питання якості поверхні, виявлено, що механізм впливу її параметрів на характеристики світлозбора внутрішніх робочих поверхонь канавки під світловод відрізняється від впливу цих параметрів для плоских наружних поверхонь. У роботі вперше встановлено вплив параметрів шорсткості поверхні на характеристики світлозбора робочих поверхонь канавки під світловод. Результати досліджень показали, що шорсткість поверхні канавки $R_a = 0,7 \dots 1,0$ мкм забезпечує заданий діапазон значень коефіцієнта внутрішнього відображення, а зменшення чи збільшення величини шорсткості поверхні призвело до зниження оптичних характеристик. Проведене дослідження не підтвердило припущення про збільшення коефіцієнта внутрішнього відображення при поліруванні канавки.

У шостому розділі на підставі результатів досліджень проведених разом із НТК “Інститут монокристалів” підвищена ефективність процесу фрезерування виробів з полістиролу.

Розроблено і впроваджено САПР КП для виготовлення виробів “Tile”. Використання наданого САПР КП дозволило збільшити продуктивність обробки виробів у 2,7 рази і зменшити кількість браку до заданого рівня (менш 2 %).

Розроблено алгоритм забезпечення якості поверхні, функціональних та експлуатаційних характеристик оптичних полістирольних виробів (на прикладі “Tile”), який дозволяє отримати необхідну якість виробів (рис. 9). На підставі вдосконаленого технологічного процесу механічної обробки полістирольних виробів успішно виконано постачання партії конкурентноздатних виробів “Tile” по програмі CMS (Швейцарія). У Додатку 3 приведений акт упровадження розробок.

ВИСНОВКИ

У роботі вирішена актуальна науково-технічна задача одержання конкурентноздатних оптичних полістирольних виробів “Tile” шляхом призначення раціональних умов процесу фрезерування, що забезпечують високі функціональні та експлуатаційні характеристики.

У ході проведених досліджень одержані наступні результати:

– На основі вимог, пропонованих до якості внутрішньої поверхні канавок, встановлена величина припустимого зносу дрібнорозмірних кінцевих фрез зі швидкорізальної сталі $h_3 = 0,2 \pm 0,25$ мм. Збільшення зносу приводить до значного росту шорсткості обробленої поверхні, а також до підвищення головної складової сили P_z , що веде до зниження міцності інструменту.

– Установлено, що стійкість дрібнорозмірного різального інструменту зі швидкорізальної сталі та інтенсивність його зношування при фрезеруванні складнопрофільних канавок полістирольних виробів обумовлені контактною взаємодією між інструментом і оброблюваним матеріалом. Унаслідок фізико-хімічних перетворень, які протікають у стиснутих умовах різання, вільний водень, що утворився, адсорбується поверхнею металу при температурі 60–70° С, приводячи до окрихкування кромки різального інструменту, в результаті цього істотно знижується його працездатність.

– На основі проведених досліджень встановлено, що найбільш значущим фактором, який впливає на точність готових виробів, є пружне відновлення полімерного матеріалу ($\Delta_{пр}$). Вивчено вплив на $\Delta_{пр}$ подачі, яка визначає співвідношення між температурою, площею перетину зрізу і силою різання. Експериментально встановлено, що величина $\Delta_{пр}$ із збільшенням подачі спочатку зменшується, досягаючи мінімуму (10-20 мкм) в інтервалі подач $0,02 \pm 0,03$ мм/зуб, а потім інтенсивно зростає.

– Розроблено методику контролю й ефективної оцінки мікрогеометрії поверхні оптичних полімерних виробів. Запропонована методика дозволяє

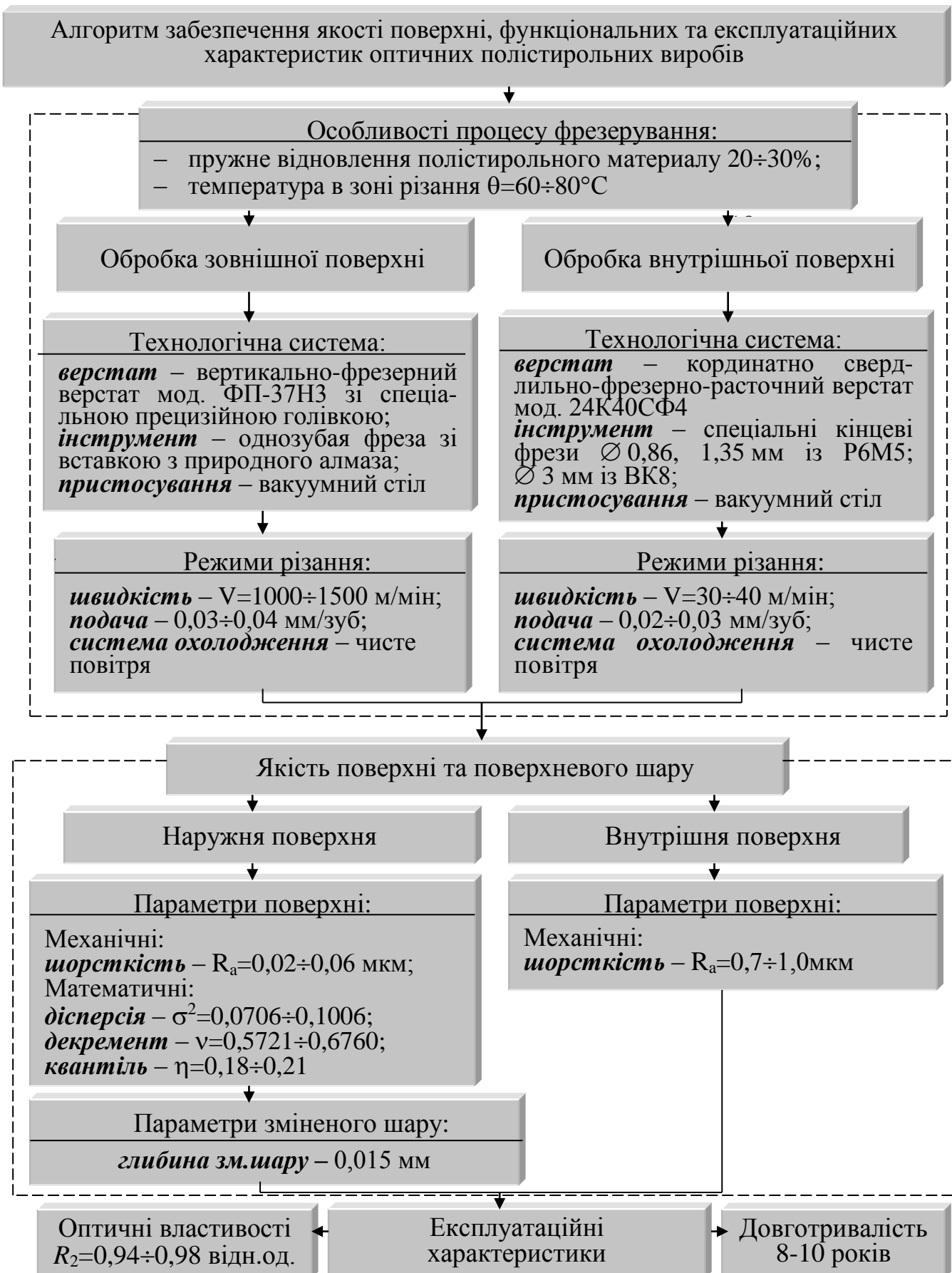


Рис. 9. Алгоритм забезпечення якості поверхні, функціональних та експлуатаційних характеристик оптичних полістирольних виробів

комплексно оцінити мікрогеометричний профіль поверхонь оптичних виробів з погляду їхнього функціонального призначення. При такому підході поряд з основними стандартними висотними і кроковими параметрами, які характеризують шорсткість поверхні, враховується форма і розташування нерівностей, що можуть приводити до порушення внутрішнього відображення поверхонь оптичних виробів за рахунок розсіювання світлового пучка і зниження світлового виходу оптичних полімерів.

– Установлено, що параметри якості внутрішньої поверхні канавки під світловод мають відмінний від плоских зовнішніх поверхонь механізм впливу на характеристики світлозбору. Експериментально визначена оптимальна величина шорсткості робочих поверхонь канавки, що забезпечує заданий коефіцієнт внутрішнього відображення.

– Для оцінки величини зміненого шару оптичних полімерних виробів після механічної обробки запропоновано використовувати підхід, заснований на пошаровому вимірі мікротвердості. Установлено вплив величини зміненого шару на довгострокову стабільність функціональних характеристик оптичних виробів, що дозволяє прогнозувати експлуатаційні характеристики при різних умовах фрезерування.

– У результаті проведених досліджень установлено, що по сукупності всіх показників найбільш надійним технологічним процесом механічної обробки оптичних виробів “Tile” є алмазне фрезерування, яке забезпечує потрібну якість поверхні: формується стабільна поверхнева структура ($R_a \sim 0,06$ мкм, $\eta = 0,19$) і мінімальна величина зміненого шару (0,015 мм). Це гарантує високу експлуатаційну надійність.

– Розроблено модель забезпечення рівня якості поверхонь та експлуатаційних характеристик оптичних полістирольних виробів, що дозволяє визначити раціональні умови процесу фрезерування зовнішньої і внутрішньої поверхонь.

Упровадження результатів роботи на виробництві плоских полістирольних виробів дозволило забезпечити підвищення якості поверхневого шару плоских сцинтиляційних виробів “Tile” і в 2÷2,4 рази збільшити продуктивність їх обробки.

Основні результати дисертації опубліковані в наступних публікаціях:

1. Особенности формирования микрогеометрии крупногабаритных оптических полимеров / Везуб Н.В., Литвиненко М.В., Мазманишвили А.С., Сенчишин В.Г., Кундрак Я. // Вестник национального технического университета “Киевский политехнический институт”. – Киев: НТУУ “КПИ”. – 2001. – Вып. 41. – С. 47-50.

Здобувачем виявлено властивості формування мікрогеометрії великогабаритних оптичних полімерних виробів.

2. Литвиненко М.В., Сенчишин В.Г., Везуб Н.В. Исследование явления упругого восстановления при резание полимеров концевыми фрезами // Резание

и инструмент в технологических системах. – Харьков: ХГПУ. – 2001. – Вып. 59. – С. 153-157.

Здобувачем отримано результати впливу діаметру фрези і величини подачі на пружне відновлення полімерного матеріалу при нарізуванні дрібнорозмірної канавки під світловод кінцевими фрезами.

3. Алгоритм управления и контроля микрогеометрии оптических полимеров / Чернышев А.А., Литвиненко М.В., Сидоренко А.Ю., Вереzub Н.В. // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2002. – № 9, т.11. – С. 108-112.

Здобувачем запропонована методика оцінки якості поверхні оптичних полімерних виробів, що дозволяє комплексно оцінити мікрогеометричний профіль поверхні оптичних виробів з погляду їхнього функціонального призначення.

4. Литвиненко М.В. Зависимость эксплуатационных характеристик полимерных изделий от параметров микрогеометрии // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2002. – № 9, т.11. – С. 19-23.

5. Технология производства изделий типа “Tile” / Вереzub Н.В., Литвиненко М.В., Чернышев А.А., Сенчишин В.Г. // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ “ХПИ”. – 2002. – Вып. 63. – С. 9-21.

У статті використані отримані автором результати дослідження процесу фрезерування зовнішньої і внутрішньої поверхні оптичних полімерних виробів.

6. Provision of required functional characteristics for “Tile” type articles at machining / Senchishin V.G., Verezub N.V., Litvinenko M.V., Chernyshov A.A. // Functional Materials. – Kharkiv: Institute for single crystals National academy of sciences of Ukraine. – 2002. – Vol.9(4). – P. 756-761.

У статті використані отримані здобувачем нові залежності параметрів якості від процесу фрезерування.

7. Литвиненко М.В. Физическая природа изнашивания режущего инструмента из быстрорежущей стали при обработке оптических изделий // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2003. – № 9, т.1. – С. 29-34.

АННОТАЦИИ

Литвиненко М.В. Повышение функциональных и эксплуатационных характеристик оптических полистирольных изделий, полученных фрезерованием – Рукопись.

Диссертация на соискателя ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.01 – процессы механической обработки, станки и инструменты. – Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2004.

Диссертация посвящена решению научно-технической задачи обеспечения требуемых параметров макро- и микрогеометрии поверхности,

состояния поверхностного слоя оптических полимерных изделий “Tile” путем назначения рациональных условий процесса фрезерования, обеспечивающих высокие функциональные и эксплуатационные характеристики. Актуальность и значимость работы определяется приоритетами развития физики высоких энергий, оптического производства и медицинской техники, среди которых качество и производительность механической обработки оптических изделий занимает одно из главных мест.

На основании исследования природы износа мелкогабаритного режущего инструмента из быстрорежущей стали при фрезеровании канавок установлено, что интенсивность износа определяется химическим взаимодействием при контакте инструмента с обрабатываемым полимерным материалом. В результате выделяющийся водород адсорбируется рабочей поверхностью инструмента, приводя к охрупчиванию режущих кромок, что существенно снижает работоспособность. Допустимая величина износа по задней поверхности мелкогабаритного режущего инструмента $h_3=0,25...0,3$ мм определяется требованиями к состоянию обработанной поверхности “Tile” и стойкости инструмента.

Установлено, что при обработке изделий “Tile” точность линейных размеров и размеров профрезерованных канавок определяется в основном свойствами упругого восстановления полимерного материала. На основе результатов экспериментальных исследований определены закономерности изменения величины упругого восстановления от условий процесса фрезерования.

Разработана методика контроля и эффективной оценки качества поверхности оптических полимерных изделий, базирующаяся на теории вероятностей. Основным преимуществом данной методики является учет функциональных характеристик оптических изделий (в частности, коэффициента внутреннего отражения) при оценке качества поверхности. Применение данной методики позволяет безошибочно определить функциональную пригодность оптического изделия.

Нестабильность свойств поверхностного слоя оптических изделий негативно сказывается на их эксплуатационных характеристиках. В работе представлены результаты оценки величины измененного слоя оптических полимерных изделий после механической обработки. Экспериментально подтверждено, что алмазное фрезерование является предпочтительным видом лезвийной обработки, обеспечивающим формирование стабильной поверхностной структуры и минимальную величину измененного слоя (по сравнению с обработкой искусственным алмазом эта величина в 2 раза, а твердым сплавом – приблизительно в 3,5 раза меньше), что гарантирует высокую эксплуатационную надежность оптических изделий.

На основе результатов исследований и производственной проверки разработаны рекомендации по улучшению механической обработки оптических изделий “Tile”, при которой достигается максимальная стойкость инструмента, обеспечивается получение необходимого качества

поверхностного слоя, что позволяет создавать изделия с высокими эксплуатационными свойствами.

Ключевые слова: качество поверхности, измененный поверхностный слой, мелкоразмерный инструмент, анализ точности, световой выход, фрезерование.

АНОТАЦІЇ

Литвиненко М.В. Підвищення функціональних та експлуатаційних характеристик оптичних полістирольних виробів, отриманих фрезеруванням – Рукопис.

Дисертація на здобувача ученого ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати й інструменти. – Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2004.

Дисертація присвячена рішення науково-технічної задачі забезпечення потрібних параметрів макро- і мікрогеометрії поверхні, стану поверхневого шару оптичних полістирольних виробів, шляхом призначення раціональних умов фрезерування внутрішніх та зовнішніх поверхонь, що забезпечують високі експлуатаційні властивості. Визначено особливості зносу дрібнорозмірного різального інструменту зі швидкорізальної сталі при фрезеруванні канавок. Розроблено методику контролю й ефективної оцінки якості поверхні оптичних полімерних виробів, що базується на теорії імовірностей. Застосування даної методики дозволяє безпомилково визначити функціональну придатність оптичного виробу. У роботі представлені отримані вперше результати дослідження величини зміненого шару оптичних полістирольних виробів після механічної обробки.

На основі результатів досліджень і виробничої перевірки розроблені рекомендації з покращення процесу механічної обробки оптичних полістирольних виробів “Tile”. Це забезпечило підвищення стійкості дрібнорозмірного інструменту, одержання потрібної якості поверхневого шару, дозволило створити вироби з високими функціональними та експлуатаційними властивостями.

Ключові слова: якість поверхні, змінений поверхневий шар, дрібнорозмірний інструмент, аналіз точності, світловий вихід, фрезерування.

SUMMARY

Litvinenko M.V. Increase of functional and operational characteristics optical polystyrenes the products received by milling - Manuscript.

Thesis on the competitor for scientific degree of candidate of engineering sciences on speciality 05.03.01 - machining processes, machines and tools. - National technical university “Kharkov polytechnic institute”, Kharkov, 2004.

The thesis is devoted to solution of scientific and technical problem, which consists in prediction of parameters of surface macro- and microgeometry, condition of surface layer of optical polymeric products, obtained under rational conditions of milling process, ensuring high performances. The features of wear and durability of fine-sized cutting tool are determined at milling of grooves. The technique of monitoring and effective assessment of surface quality of optical polymeric products

is developed on the basis of probability theory. Application of given technique allows to determine correctly functional suitability of optical product. Results of investigation of changed layer value of optical polymeric products after machining are presented for the first time.

On the basis of results of investigations and industrial check, the recommendations for creation of effective technology of processing of optical products “Tile” are developed, at which the maximum tool durability is reached, obtaining of necessary quality of surface layer is ensured, that allows to create products with high performances.

Key words: surface quality changed surface layer, fine-sized tool, precision analysis, light output, milling.