

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Тітаренко Оксана Валеріївна

УДК 621.91

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ НА ЕТАПІ  
НАПІВЧИСТОВОЇ ОБРОБКИ ТЕРМОПЛАСТИЧНИХ ПОЛІМЕРНИХ  
МАТЕРІАЛІВ**

Спеціальність 05.03.01 – Процеси механічної обробки, верстати та інструменти

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2008

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі інтегрованих технологій машинобудування ім. М.Ф. Семка Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України, м. Харків.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент  
**Лавриненко Сергій Миколайович**,  
Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, м. Харків, доцент кафедри інтегрованих технологій машинобудування ім. М.Ф. Семка.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник  
**Філатов Юрій Данилович**,  
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля  
Національної академії наук України,  
провідний науковий співробітник, м. Київ;

кандидат технічних наук, доцент  
**Тарасюк Анатолій Петрович**,  
Українська інженерно-педагогічна академія  
Міністерства освіти і науки України, проректор з  
навчальної роботи, м. Харків.

Захист відбудеться 27 березня 2008 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 у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”.

Автореферат розісланий 21 лютого 2008 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Пермяков О.А.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТЫ

**Актуальність теми.** Розвиток нових сфер ядерної фізики та фізики високих енергій зумовив останнім часом зростання попиту на великогабаритні сцинтилятори із термопластичних полімерних матеріалів, що люмінесціюють під впливом іонізуючих випромінювань. Вимоги до якості таких виробів достатньо високі: точність розмірів, оптична прозорість, радіаційна стійкість та збереження експлуатаційних характеристик протягом десятків років.

Процес виробництва пластмасових сцинтиляторів включає декілька етапів механічної обробки поверхонь фрезеруванням, на кожному з яких здійснюється зміна фізико-механічних властивостей поверхневого шару. Провідну роль у формуванні характеристик полімерних матеріалів грають теплофізичні чинники механічної обробки. Величина термомеханічного навантаження та характер розподілу тепла в оброблюваній полімерній заготовці визначають не тільки шорсткість її поверхні, а й внутрішній стан і подальший процес релаксації деформаційних перебудов у структурі поверхневого шару. Недостатня оцінка цього взаємозв'язку призводить до того, що сформований на чистових операціях необхідний рівень шорсткості поверхні не завжди забезпечує довговічність готового виробу.

Розширення технологічних можливостей процесу фрезерування термопластичних полімерів за рахунок створення раціональних теплофізичних умов у зоні різання є актуальною науковою та практичною задачею, що складає напрямок дисертаційних досліджень. Вирішення задачі дасть змогу на етапі напівчистої обробки забезпечити утворення термодинамічно стабільного стану поверхневого шару та сформувати комплекс необхідних фізико-механічних властивостей матеріалів.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Виконання дисертаційної роботи пов'язано з науковою тематикою кафедри інтегрованих технологій машинобудування ім. М.Ф. Семка НТУ "ХП" за держбюджетною темою МОН України "Створення концепції керування і забезпечення якості прецизійних сцинтиляційних оптичних виробів на основі системного підходу" (ДР№0104U003014, 2004 – 2006 рр.), в якій здобувач була виконавцем окремих розділів, та грантом на проведення наукових досліджень у Технічному університеті (м. Грац) та Монтануніверситеті (м. Леобен) від Австрійської академічної служби обміну.

**Мета та задачі дослідження.** Метою роботи є забезпечення необхідної якості поверхневого шару на етапі напівчистої обробки термопластичних полімерних матеріалів за рахунок створення раціональних теплофізичних умов у зоні різання.

Задачі дослідження:

1. Виконати аналіз інформаційних джерел щодо особливостей структуроутворення та фізико-механічних властивостей полімерних термопластичних матеріалів. Розглянути методичні підходи для експериментальних та теоретичних досліджень теплових явищ процесу механічної обробки неметалевих матеріалів фрезеруванням.

2. Розробити методику вимірювання температури у полімерному матеріалі, що оброблюється фрезеруванням, та програмне забезпечення для реєстрування експериментальних даних і аналізу результатів досліджень.

3. Визначити вплив параметрів технологічного процесу на закономірності розподілу тепла у полімерному матеріалі. Встановити раціональні технологічні умови, при яких забезпечується мінімальний термомеханічний вплив на поверхневий шар, що формується.

4. Розробити математичну модель для розрахунку температури полімерних матеріалів у процесі фрезерування, яка дозволить оцінити тепловий стан їх поверхневого шару в залежності від технологічних параметрів обробки з урахуванням обмежень можливостей експериментальних методів.

5. Оцінити якість поверхневого шару полімерних матеріалів після обробки на основі його теплофізичних властивостей, мікрогеометрії та структури поверхні. Проаналізувати температурні залежності питомої теплоємності поверхневого шару, оцінити його внутрішній енергетичний стан та фізичну структуру.

6. Встановити взаємозв'язок між термомеханічною передісторією поверхневого шару та його якістю. Оцінити вплив теплових явищ процесу обробки на ступінь деструкції поверхневого шару та запропонувати раціональні технологічні параметри процесу обробки, при яких на етапі напівчистового фрезерування забезпечується його стабільний термодинамічний стан та необхідний рівень шорсткості поверхні.

*Об'єкт дослідження* – процес торцевого фрезерування термопластичних полімерних матеріалів.

*Предмет дослідження* – теплові явища процесу механічної обробки фрезеруванням та їх вплив на якість обробленого поверхневого шару термопластичних полімерних матеріалів.

*Методи дослідження.* Роботу виконано на базі положень теорії різання, теорії теплопередачі та теплообміну, термодинаміки та механіки матеріалів з неупорядкованою структурою, що неоднорідно деформуються. Експериментальні дослідження теплових процесів при обробці полімерів виконано за методом реєстрації інфрачервоного випромінювання теплової енергії за допомогою цифрової термографічної камери ThermoVision A20-M (FLIR) та програмного пакету ThermoCAM Researcher 2.8. Дослідження температури в приповерхневому шарі полімерів здійснено за методом вбудованих штучних термопар за допомогою вимірювальної системи DAQ System SC-2345 (National Instruments) та програмного забезпечення LabVIEW 7.1. Моделювання теплових явищ у поверхневому шарі полімерів виконано на основі методу скінченних елементів у програмному середовищі ANSYS 10.0. Експериментальні дослідження мікрогеометрії та структури оброблених поверхонь полімерів проведені методом електронної скануючої мікроскопії за допомогою мікроскопу Philips XL 30 ESEM-TMP і програмного забезпечення 3D-MEX та контактним методом за допомогою профілографа-профілометра Hommel Tester T1000. Дослідження теплофізичних властивостей поверхневого шару проведено методом диференціальної скануючої калориметрії за допомогою калориметру Netzsch DSC 204 F1 Phoenix®, мікротому Reichert-Jung Microtome MT6 та програмного пакету Proteus 4.1.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

1. Запропоновано, обґрунтовано та реалізовано новий підхід до вибору раціональних параметрів процесу фрезерування термопластичних полімерних матеріалів, який враховує особливості розподілу тепла у поверхневому шарі, зміни його внутрішнього енергетичного стану та формування мікрогеометрії поверхні, що дозволяє забезпечити стабільні фізико-механічні властивості матеріалів на етапі напівчистої обробки та підвищити її продуктивність.

2. На базі експериментальних досліджень теплових явищ процесу фрезерної обробки визначено вплив параметрів режиму різання та властивостей різального інструменту на стан поверхневого шару полімерних матеріалів, що дало можливість одержати регресійні залежності температури на обробленій поверхні. Доведено, що регулювання теплофізичної дії на поверхневий шар полімерів доцільно виконувати за рахунок зміни геометричних параметрів інструменту та параметрів зрізу.

3. За допомогою розроблених математичних моделей для випадку нелінійного та нестационарного процесу розповсюдження тепла при обробці полімерів фрезеруванням встановлена залежність температури у тонких поверхневих шарах матеріалу від фізичних та технологічних параметрів процесу обробки, що дозволило оцінити ступінь їх деструкції та науково обґрунтовано призначити припуски на чистові операції.

4. Встановлено взаємозв'язок між термомеханічною передісторією обробленої поверхні полімерів, особливостями її мікрогеометрії та структури, а також характером зміни ентальпії, температури склування та товщиною дефектного поверхневого шару. Вперше дана характеристика структурним перебудовам у поверхневому шарі полімерів, сформованому у різних теплофізичних умовах механічної обробки.

**Практичне значення отриманих результатів.** Використання запропонованих практичних рекомендацій в галузях авіаційного та хімічного машинобудування дозволяє обґрунтовано вибирати параметри режиму різання, матеріал та геометрію інструменту при обробці фрезеруванням полістиролу (ПС) та поліметилметакрилату (ПММА) для виробів оптичного призначення. Розроблена методика експериментального дослідження процесів утворення та розповсюдження тепла у полімерних матеріалах і створене для цього програмне забезпечення дозволяють розширити уявлення щодо теплофізики процесу обробки. Застосування запропонованої методики моделювання теплових явищ в поверхневому шарі матеріалів дає можливість оцінити їх внутрішній стан та обґрунтовано керувати чинниками термомеханічної дії. Розроблена комплексна експериментально-теоретична методика оцінки якості обробленого поверхневого шару полімерів дозволяє виконувати неруйнівний контроль його дефектності.

Впровадження практичних рекомендацій у виробництво на Харківському державному авіаційному виробничому підприємстві дозволило на 15 % скоротити витрати на придбання інструменту та у 2÷2,5 рази підвищити продуктивність чистої обробки термопластичних полімерних матеріалів оптичного призначення.

**Особистий внесок здобувача.** Формулювання наукових положень і висновків роботи, розробка експериментальних та теоретичних методик дослідження теплових явищ в оброблювальних полімерних матеріалах та методики оцінки якості поверхневого шару – виконано здобувачем самостійно.

**Апробація результатів дисертації.** Матеріали дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на: наукових семінарах кафедри інтегрованих технологій машинобудування ім. М.Ф. Семка НТУ “ХП” (2003 – 2007 рр.); науково-технічному семінарі “Семковські молодіжні наукові читання” (Харків: 2003 р., 2005 – 2007 рр.); міжнародному науково-технічному семінарі “Високі технології в машинобудуванні” (Алушта: 2005 р., 2006 р.); XI – XV міжнародній науково-практичній конференції “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я” (Харків: 2003 – 2007 рр.); VI міжнародній конференції Європейського товариства прецизійної техніки та нанотехнологій “EUSPEN” (Баден-Вена (Австрія): 2006 р.); VI, VII всеукраїнській молодіжній науково-технічній конференції “Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво” (Хмельницький: 2006 р., Одеса: 2007 р.).

**Публікації.** За результатами роботи опубліковано 12 наукових праць, з них 9 – у фахових виданнях ВАК України, 1 деклараційний патент України на винахід.

**Структура й обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається з вступу, 5 розділів, висновків, 5 додатків і списку використаних джерел. Повний обсяг дисертації складає 278 сторінок, з них 2 ілюстрації і 1 таблиця за текстом, 96 ілюстрацій і 15 таблиць на 88 сторінках, 201 використаних літературних джерел на 17 сторінках, 5 додатків на 23 сторінках.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, висвітлені наукова новизна роботи та практична цінність отриманих результатів. Визначено об’єкт і предмет дослідження. Показано зв’язок дисертаційної роботи з науковими планами, представлено інформацію щодо її апробації.

**У першому розділі** виконано огляд літературних джерел стосовно особливостей будови та властивостей термопластичних полімерних матеріалів, їх деформаційної поведінки під впливом термомеханічних навантажень, енергетичних аспектів процесу руйнації, а також проблем обробки полімерів різанням та методів дослідження теплових явищ в них.

Характерною рисою деформаційної поведінки термопластичних склоподібних полімерних матеріалів на основі ПС і ПММА, що мають неоднорідну термофлуктуаційно нерівноважну структуру, відповідно до досліджень Бакєєва М.Ф., Волинського А.Л., Олійника Е.Ф., Саламатіної О.Б., Шеногіна С.В. та інших, є перетворення значної доли теплової та механічної енергії у внутрішню енергію. Дисипація запасеної енергії деформації залежно від термомеханічної передісторії відбувається або через релаксацію структурних дефектів типу смуг зсуву, або через утворення сітки

мікротріщин, або через дезорієнтування структури, що дозволяє виділити теплофізичний чинник процесу обробки головним у керуванні структуроутворенням та фізико-механічними властивостями поверхневого шару полімерів.

У роботі розглянуто основні методи вимірювання температури у неметалевих матеріалах під час їх обробки (Вадачкорія В.І., Гюнтер Ю., Губбелс Г.П.Х., Дрожжин В.І., Лавриненко С.М., Месіла Р.А. та інші), особливості процесу лезової обробки полімерних матеріалів та шляхи забезпечення високих експлуатаційних характеристик у виробках з них (Берлін А.Н., Везуб М.В., Кобаяші А., Літвіненко М.В., Осинівський Е.І., Сенчишин В.Г., Степанов А.А., Суворов В.Д., Теті Р., Цуг Г., Шпур Г. та інші). Зазначено, що найбільший вплив на температуру у зоні різання має швидкість різання та зношення задньої поверхні різального інструменту. Ефективне поєднання експериментальних та теоретичних методів дослідження є перспективним шляхом у розширенні уявлень стосовно закономірностей утворення та розподілу тепла у матеріалах з низькою теплопровідністю під час їх механічної обробки. На основі робіт Карслоу Х.С., Остаф'єва В.А., Резнікова А.Н., Редько С.Г., Силіна С.С., Сіпайлова В.А., Триггера К.Д. та інших розглянуто методи математичного моделювання теплових явищ та вибрано метод скінченних елементів, який є одним з найбільш раціональних для опису нелінійних та нестационарних процесів теплообміну.

Високі вимоги до довговічності функціонування оптичних виробів з термопластичних полімерних матеріалів зумовлюють пошук нових технологічних рішень. Дисертація спрямована на подальше вивчення впливу теплофізичних явищ процесу механічної обробки на властивості поверхневого шару термопластичних полімерних матеріалів. Запропонований підхід до раціонального вибору технологічних параметрів на етапі напівчистої обробки повинен сприяти створенню належних теплофізичних умов у зоні різання для формування стабільних фізико-механічних властивостей поверхневого шару та необхідного рівня шорсткості поверхні, що дозволить зменшити припуск на наступні стадії обробки та збільшити її продуктивність.

На підставі проведеного аналізу сформульовано мету і визначено задачі дослідження.

**У другому розділі** подано інформацію щодо методичного забезпечення експериментальних досліджень теплових явищ процесу обробки та якості обробленого поверхневого шару полімерних матеріалів.

Згідно з розробленими на кафедрі інтегрованих технологій машинобудування ім. М.Ф. Семка нормативами режимів різання, внутрішніми вимогами науково-виробничого підприємства Інституту сцинтиляційних матеріалів НАН України (м. Харків) та Харківського державного авіаційного виробничого підприємства для дослідження теплових явищ процесу фрезерування полімерних матеріалів ПС та ПММА обрано наступний діапазон параметрів режиму різання: швидкість –  $v = 30 \div 1500$  м/хв; подача –  $S = 0,01 \div 0,07$  мм/об та глибина різання –  $t = 0,1 \div 0,5$  мм.

Експериментальні дослідження процесу однозубого фрезерування полімерних матеріалів проведено на оброблювальних центрах з ЧПУ EMCO F3 tronic M1 та EMCO VMC 600 Heidenhain. В якості різального інструменту обрано різець зі вставкою із надтвердого полікристалічного матеріалу на основі синтетичного алмазу марки СКМ-Р (виробництва Полтавського алмазного заводу) з геометрією, яка традиційно застосовується на виробництві ( $\gamma = 0^\circ$ ,  $\beta = 15^\circ$ ,  $\alpha = 45^\circ$ ,  $\alpha_1 = 10^\circ$ ,  $r = 0,5$  мм), та різальну пластину (ТС) із дрібнозернистого тврдосплавного матеріалу ВК6-М (виробництва концерну CERATIZIT, Австрія) з параметрами:  $\gamma = 22^\circ$ ,  $\beta = 15^\circ$ ,  $\alpha = 90^\circ$ ,  $\alpha_1 = 2^\circ$ ,  $r = 0,4$  мм та різальною кромкою  $l_1 = 2$  мм. Для встановлення ступеню впливу властивостей інструментів на теплофізику процесу обробки окремі дослідження були проведені з інструментом із тврдосплавного матеріалу ВК6-М з геометрією інструменту СКМ-Р.

Для експериментального дослідження теплових явищ в полімерних матеріалах під час фрезерування у роботі розроблено та запропоновано комплексну методику, що базується на сумісному використанні термографічного методу та методу вбудованих штучних термопар. Термографічний метод дав можливість дослідити оброблену поверхню, зокрема, динаміку розподілу тепла та величину максимальної і середньої температури на вході та на виході інструменту із зони контакту. Метод штучних термопар за допомогою розробленої керуючої програми дозволив зареєструвати температуру у приповерхневому шарі полімерів у семи точках, розташованих на різній відстані від лінії зрізу в напрямках векторів головного  $v_p$  та допоміжного  $v_n$  рухів різання (рис. 1).

Рис. 1. Схема реєстрації та перетворення теплових і термоелектричних сигналів при фрезеруванні полімерного матеріалу

Візуалізація та обробка результатів теплових досліджень з термопарами за допомогою створеної в середовищі Matlab 7.0 програми дала можливість визначити для кожної з них максимум температури, розрахувати швидкість її зміни та провести зрівняльний аналіз вимірювань.

Експериментальні дослідження особливостей мікрогеометрії оброблених поверхонь виконано контактним методом, а дослідження структури – методом електронної скануючої мікроскопії без нанесення струмопровідного покриття. Внутрішній енергетичний стан поверхневого шару за термодинамічними параметрами оцінено методом диференціальної скануючої калориметрії.

**Третій розділ** присвячено аналізу кінематики та механіки процесу фрезерування полімерних матеріалів і встановленню залежностей температури їх поверхневого шару від параметрів режиму різання та властивостей різального інструменту з метою визначення раціональних технологічних умов обробки.

Специфіка теплових явищ у полімерних матеріалах, що оброблюються різанням, зумовлена їх низькими теплопровідністю і теплостійкістю та великим коефіцієнтом теплового розширення. Основною передумовою визначення раціональних технологічних параметрів процесу різання є оцінка відповідного



рівня термомеханічного навантаження на поверхневий шар полімерів та його розподілу в ньому.

Аналіз кінематики переривчастого процесу торцевого однозубого фрезерування показав, що співвідношення величини середньої товщини зрізу до її максимального значення у разі використання інструменту СКМ-Р не перевищує 2,3%, а у разі використання пластини ТС – 5,6%, що дозволило не враховувати вплив змінної площі поперечного перерізу зрізу на нерівномірність розподілу термомеханічного навантаження.

З точки зору механіки процесу фрезерування полімерів формування найбільш регулярного профілю з мінімальним рівнем шорсткості забезпечується при обробці зі швидкістю  $v = 30$  м/хв у всьому діапазоні значень параметрів  $S$  і  $t$  як при використанні інструменту СКМ-Р, так і пластини ТС. При збільшенні швидкості різання діапазон значень параметрів  $S$  і  $t$  має ставати більш індивідуальним для кожного з інструментів, що зумовлено посиленням ролі переднього кута у керуванні питомою силою різання.

Вплив параметрів режиму різання на процеси утворення та розповсюдження тепла є складним. Взаємозв'язок між ознаками теплового стану поверхневого шару полімерів та параметрами перерізу зрізу при обробці з певною швидкістю різання встановлено на базі регресійного аналізу експериментальних даних за величиною з'ясованої дисперсії  $D_{3c}$ . Доведено, що найбільшу частину варіації ознак, що досліджуються, з  $D_{3c} > 88\%$ , пояснює рівняння виду

$$\Theta = a \cdot t^2 + b \cdot t + c \cdot S^2 + d \cdot S + f \cdot (t \cdot S)^2 + k \cdot t \cdot S + m, \quad (1)$$

де  $a, b, c, d, f, k, m$  – чисельні коефіцієнти, визначення яких виконано у пакеті для статистичного аналізу Statistica 7.0.

Обробка полімерних матеріалів зі швидкістю  $v = 30$  м/хв відбувається в межах їх склоподібного фізичного стану, яке у ПС підтримується при температурі до  $80 - 90$  °С, а у ПММА –  $110 - 120$  °С. У разі використання пластини ТС виникаючий рівень максимальної температури на обробленій поверхні ( $I_{\text{пов}}$ ) обох полімерів приблизно у два рази менший, ніж при використанні інструменту СКМ-Р, відповідне температурне поле в приповерхневому шарі з температурою  $I_{\text{пш}}$  відрізняється більш вузькою локалізацією навколо зони контакту, більшою швидкістю зміни температури  $v_h$  у поверхневому шарі товщиною  $h$  та меншим розповсюдженням у напрямку вектору допоміжного  $v_n$  руху різання (рис. 2), що є наслідком більш сприятливих умов взаємодії за рахунок геометричних параметрів пластини.

1)

2)

Рис. 2. Максимальна температура на обробленій поверхні ПС при обробці зі швидкістю  $v = 30$  м/хв: 1 – інструмент СКМ-Р; 2 – пластини ТС.

У загальному процесі теплоутворення при обробці полімерів зі швидкістю  $v = 30$  м/хв подача є домінуючим чинником. Її вплив на температуру

поверхневого шару є складним внаслідок різних умов взаємодії з інструментом в області товщин зрізу, які порівнянні з радіусом округлення різальної кромки або перевищують його. Вплив величини глибини різання більш однозначний (рис. 2). За даними регресійного аналізу він приблизно у два рази менший за подачу при обробці ПС і у три рази – при обробці ПММА у разі використання інструменту СКМ-Р та ще менший при використанні пластини ТС. Встановлений раціональний діапазон значень параметрів перерізу зрізу (таблиця) при обробці полімерів пластиною ТС ширший, ніж при обробці інструментом СКМ-Р. При цьому вплив теплофізичних явищ на глибину розпо-всюдження температурного поля у поверхневому шарі ПММА більший за ПС.

Обробка полімерів зі швидкістю  $v = 400$  м/хв у порівнянні з обробкою зі  $v = 30$  м/хв характеризується зменшенням діапазону значень параметрів  $S$  і  $t$  (таблиця), при яких температура на обробленій поверхні не перевищує величини, характерної для склоподібного стану полімерів. Вплив величини глибини різання збільшується приблизно у 1,7 рази для обох полімерів при використанні інструменту СКМ-Р та у 5 разів – при використанні пластини ТС. Однак, домінуючим у загальному процесі теплоутворення цей параметр стає тільки при обробці полімерів пластиною ТС. Розподіл температурного поля у поверхневому шарі матеріалів відзначається значними градієнтами температури у напрямку вектору  $v_p$  (до  $70^\circ\text{C}$  на обробленій поверхні), розширенням меж розповсюдження від зони контакту та прискоренням швидкості зміни температури, що більш значною мірою виявляється при зменшенні подачі та у разі використання інструменту СКМ-Р (рис. 3).

Аналіз результатів дослідження теплових явищ при обробці полімерів інструментом СКМ-Р з  $v = 400$  м/хв свідчить про те, що така обробка не є прийнятною з точки зору забезпечення рівномірності розподілу термомеханічного навантаження у поверхневому шарі.

Рис. 3. Динаміка зміни температури в приповерхневому шарі ПС при обробці з параметрами:  $v = 400$  м/хв,  $S = 0,01$  мм/об,  $t = 0,5$  мм.

При переході до області швидкостей  $v = 800$  ч  $1500$  м/хв раціональний діапазон значень параметрів  $S$  і  $t$  розширюється (таблиця) завдяки скороченню часу взаємодії інструменту з заготівкою, зменшенню градієнта температури у зоні контакту та зниженню сил різання на відділення стружки, матеріал основи якої знаходиться поза межами склоподібного фізичного стану. Відповідні температурні поля у приповерхневому шарі витягуються у напрямку вектору допоміжного руху різання  $v_n$ , тому глибина їх розповсюдження зменшується ( $h \approx 4,7 - 4,9$  мм у разі використання інструменту СКМ-Р та до  $h \approx 2,8 - 3,5$  мм при використанні пластини ТС), а швидкість зміни температури збільшується у порівнянні з обробкою з  $v = 400$  м/хв. Основним параметром регулювання рівня

термомеханічного навантаження при використанні інструменту СКМ-Р є глибина різання, а при використанні пластини ТС – подача, що є наслідком посилення ролі геометрії різального інструменту у загальному процесі теплоутворення.

Оцінка впливу швидкості різання на температуру на обробленій поверхні в області раціональних значень параметрів  $S$  і  $t$  показує, що її збільшення зумовлює поступове зменшення рівня термомеханічного навантаження на поверхневий шар (рис. 4). Ступінь впливу швидкості різання визначено при постійному значенні подачі  $S = 0,05$  мм/об за допомогою рівняння регресії виду

$$\Theta = a \cdot t^2 + b \cdot t + c \cdot v^2 + d \cdot v + f \cdot (t \cdot v)^2 + k \cdot t \cdot v + m. \quad (2)$$

Встановлено, що її роль у регулюванні рівня термомеханічного навантаження значно менша у співвідношенні до глибини різання, тобто найменша з усіх параметрів режиму різання (особливо при обробці ПММА та при використанні інструменту СКМ-Р).

Рис. 4. Залежність середньої температури на оброблюваній поверхні полімерів від швидкості різання при  $S = 0,05$  мм/об та  $t = 0,1$  мм

Загальну залежність температури у поверхневому шарі від параметрів режиму різання представлено як

$$\Theta(t, S, v) = a(v) \cdot t^2 + b(v) \cdot t + c(v) \cdot S^2 + d(v) \cdot S + f(v) \cdot (t \cdot S)^2 + k(v) \cdot t \cdot S + m, \quad (3)$$

функціональні залежності  $a(v)$ ,  $b(v)$ ,  $f(v)$ ,  $k(v)$  якого для діапазону швидкості різання  $v = 30$  ч  $1500$  м/хв визначаються поліномом другого степеня, як і залежності  $c(v)$ ,  $d(v)$  і  $m(v)$  у діапазоні швидкостей  $v = 30$  ч  $800$  м/хв. Для діапазону швидкостей  $v = 800$  ч  $1500$  м/хв залежності  $c(v)$ ,  $d(v)$  і  $m(v)$  описуються зворотною степеневою залежністю.

На основі проведених експериментальних досліджень обробки полімерних матеріалів трьома інструментами встановлено, що найбільш раціональною з точки зору забезпечення високої продуктивності при найменшому термомеханічному навантаженню є обробка пластиною ТС у діапазоні швидкостей різання  $v = 800$  ч  $1500$  м/хв. Однак, у разі можливості виготовлення інструменту із матеріалу СКМ-Р або іншого надтвердого дрібнозернистого матеріалу з геометрією пластини ТС його переваги за всіма чинниками є незаперечними. Для розширення технологічних можливостей інструменту СКМ-Р запропоновано використовувати конструкцію регульованого різцетримача (пат. 71351), що дозволяє виконувати регулювання кута нахилу головної різальної кромки інструменту і таким чином поліпшувати контактні умови з полімером у зоні різання та знижувати рівень термомеханічного навантаження.

**Четвертий розділ** присвячено моделюванню процесу розповсюдження тепла у полімерних матеріалах при обробці фрезеруванням за допомогою методу скінченних елементів.

Побудову моделі із врахуванням специфіки теплообмінних процесів здійснено у програмному пакеті ANSYS. В основу методики створення моделі

покладено розрахунково-експериментальний підхід, що полягає у багатоваріантній ідентифікації її параметрів з реальною фізичною моделлю шляхом рішення зворотної задачі.

Для проведення нестационарного та нелінійного теплового аналізу на моделях зі скінченних елементів використано рівняння теплопровідності у вигляді сумісної системи матричних рівнянь виду

$$[C_p] \cdot \left\{ \frac{\partial \Theta}{\partial \tau} \right\} + [K] \cdot \Delta \Theta_{i+1} = F^{\Pi} - F^{HP}_i, \quad (4)$$

де  $[C_p]$  – матриця питомих теплоємностей скінченних елементів моделі;  $\left\{ \frac{\partial \Theta}{\partial \tau} \right\}$  – похідна температури за часом  $\tau$  у вузлі елемента;  $[K]$  – матриця теплопровідності;  $\{F^{\Pi}\}$  – вектор теплових потоків, які прикладені до системи;  $\{F^{HP}\}_i$  – вектор теплових потоків, які відповідають переміщенням для ітерації з номером  $i$ .

Завдання граничних умов першого роду в якості вхідних параметрів моделі здійснено на базі експериментальних даних температури з обробленої поверхні. За допомогою розробленої методики експериментального визначення меж розповсюдження температурного поля у полімерному матеріалі у статистиці на створеній математичній підмоделі розраховано коефіцієнт теплообміну з навколишнім середовищем ( $b = 0,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ), який використано при завданні граничних умов третього роду.

При побудові геометричної та чисельної моделі заготовки введено наступні спрощення: звуження області моделювання до сегменту, який обмежено зоною контакту з інструментом та зоною просторового розповсюдження тепла; представлення інструменту у вигляді плоского джерела тепла, що рухається; виключення з системи теплообміну „відпрацьованих” елементів стружки.

Розроблена 3D-модель сегменту (40000 кінцевих елементів) має максимальне згущення сітки скінченних елементів у центральній частині зони контакту, де процес теплообміну є найбільш інтенсивним, у приповерхневому шарі і в площині прикладення навантаження. В залежності від умов контакту модель сегменту перебудовується у відповідності до геометрії різальної частини інструменту.

Для моделювання динаміки процесу розповсюдження тепла по зоні контакту використано багатоциклічне покрокове прикладення навантаження до вузлів скінченних елементів площини, яка визначається величиною подачі  $S$ , глибиною різання  $t$  та переміщується зі швидкістю, що дорівнює швидкості різання  $v$ . Результати рішення теплової задачі для встановлених раціональних режимів різання полімерів дозволили дослідити динаміку теплоутворення та характер розподілу температурного поля у приповерхневому шарі (рис. 5) і оцінити зміну температури у тонких поверхневих шарах  $h \leq 0,1 \text{ мм}$  (рис. 6). З метою скорочення загального часу на розрахунок 3D-моделі (у 3 – 4 рази) запропоновано варіант рішення задачі у двомірній постановці на моделі з 5400 елементів. Точність розрахунку вихідних даних моделей задано через критерій збіжності чисельних рішень кожного проходу теплового джерела, який встановлено на рівні 2%.

Здійснення розрахунків теплової задачі на чисельній моделі, яка враховує всі особливості експерименту з термопарами, дозволило визначити відносну похибку д значень температури в залежності від глибини їх розташування відносно лінії зрізу ( $d < 10\%$ ) та уточнити експериментальні дані. Адекватність моделей перевірено порівнянням результатів чисельних розрахунків з уточненими експериментальними даними температури в приповерхневому шарі полімерів. Для режимів з обраними раціональними параметрами адекватність 3D-моделі становить 91 – 92,3%, 2D-моделі – 86,6 – 88,4%.

Рис. 5. Розподіл температурного поля в  
ПС при обробці інструментом СКМ-Р з  
 $v = 800$  м/хв,  $S = 0,05$  мм/об,  $t = 0,1$  мм.

Рис. 6. Температура у приповерхневому  
шарі ПС при обробці з параметрами:  
 $v = 800$  м/хв,  $S = 0,05$  мм/об та  $t = 0,1$  мм.

Використання параметричного підходу до моделювання процесу розповсюдження тепла дозволило створити універсальні 3D та 2D математичні моделі, які дозволяють варіювати параметри режиму різання –  $v$ ,  $S$ ,  $t$ , геометричні параметри різальної частини інструменту, властивості заготовки та прогнозувати теплофізичний стан приповерхневих тонких шарів деталі у процесі обробки фрезеруванням.

**П'ятий розділ** присвячено аналізу результатів якісних та кількісних досліджень мікрогеометрії поверхні полімерних матеріалів та калориметричних досліджень внутрішнього енергетичного стану їх поверхневого шару.

На підставі аналізу результатів дослідження мікрогеометрії оброблених поверхонь ПС і ПММА їх структура класифікована за кроком мікронерівностей та шорсткістю мікропрофілю на п'ять типів (рис. 7), які залежать від термомеханічних умов у зоні різання і фізичного стану полімерного матеріалу.

Шорсткість обробленої поверхні полімерів оцінено за середнім з чотирьох значенням параметру  $R_a$ , середньоквадратичним відхиленням  $S_0$ , неоднорідністю шорсткості  $E$  та діапазоном розкиду значень параметрів  $R_a$ ,  $R_z$  та  $R_{max}$  у напрямку руху головного вектору різання  $v_p$ . Сумісний аналіз результатів дослідження теплових явищ в поверхневому шарі полімерних матеріалів та результатів дослідження мікрогеометрії поверхні полімерів дозволив зв'язати технологічні умови обробки з закономірностями формування структури поверхні, величиною шорсткості та однорідністю її розповсюдження, а також уточнити для інструменту СКМ-Р та пластини ТС раціональні значення параметрів режиму різання (таблиця), виходячи із забезпечення необхідного для етапу напівчистої обробки рівня шорсткості  $R_a = 0,64$  ч  $0,24$  мкм.

Рис. 7. Типи структур оброблених поверхонь ПС та ПММА:

- I – з рівномірним кроком мікронерівностей ( $R_a < 0,15$  мкм);
- II – з рівномірним кроком та налипанням полімеру ( $0,15 \leq R_a \leq 0,25$  мкм);
- III – з нерівномірним кроком та налипанням полімеру ( $0,25 \leq R_a \leq 0,50$  мкм);
- IV – з нерівномірним кроком та оплавленнями поверхні ( $0,50 \leq R_a \leq 0,70$  мкм);
- V – з оплавленнями поверхні ( $R_a > 0,70$  мкм).

Методом ДСК у роботі визначено ентальпію  $ДН$ , температуру склування  $T_{ск}$  та питому теплоємність матеріалу поверхневого шару товщиною  $h = 1$  мм після обробки з різними технологічними параметрами, що дозволило встановити взаємозв'язок між термомеханічною передісторією зразків, зокрема температурою на обробленій поверхні, та їх термодинамічними параметрами (таблиця). Отримані значення ентальпії  $ДН_{обр}$  порівняно з ентальпією еталонних зразків відповідних матеріалів  $ДН_{ет}$ , оброблених природним алмазом, на підставі чого визначено величину схованої ентальпії  $ДН_{сх}$ , що є мірою накопиченої енергії деформації  $ДU_{ост}$ , як

$$ДН_{сх} = ДН_{обр} - ДН_{ет}. \quad (5)$$

Порівнюючи характер зміни температурної залежності питомої теплоємності деформованих полімерних зразків з еталонними зразками, за допомогою фізичної механіки матеріалів з неупорядкованою структурою, що неоднорідно деформуються (мезомеханіки), у роботі надано характеристику структурним перебудовам у поверхневому шарі полімерів в залежності від технологічних умов обробки.

Встановлено, що при обробці полімерів зі швидкістю  $v = 30$  м/хв у структурі поверхневого шару з'являються переважно низькоенергетичні перебудови з включенням невеликої кількості високоенергетичних перебудов, що зумовлює зниження температури склування  $T_{ск}$  на  $2$  °С ч  $3$  °С у випадку ПС та  $1,2$  °С ч  $2,3$  °С – у випадку ПММА. З часом більша частина таких дефектів здатні “заліковуватися” за рахунок релаксаційних процесів, що забезпечує рівноважність термодинамічного стану поверхневого шару полімерів та стабільність їх фізико-механічних властивостей.

Зі збільшенням швидкості різання до  $v = 400$  м/хв через значну нерівномірність розподілу термомеханічного навантаження структура оброблених поверхонь перестає бути однорідною, а внутрішній енергетичний стан поверхневого шару – стабільним. Більшість досліджених зразків характеризуються зниженням значень  $T_{ск}$  в межах  $4,2$  °С ч  $5,5$  °С для ПС та  $3,6$  °С ч  $4,7$  °С для ПММА, збільшенням  $ДН_{сх}$  до  $0,73$  Дж/г та  $0,65$  Дж/г відповідно, що свідчить про наявність в структурі великої кількості високоенергетичних перебудов, сформованих за межами високоеластичного фізичного стану полімерів (вище  $112$  °С для ПС та  $142$  °С для ПММА), які є місцями зародження мікротріщин та причинами зниження фізико-механічних властивостей матеріалів.

Таблиця – Раціональні параметри режиму різання на етапі напівчистої обробки термопластичних полімерних матеріалів

Більшість зразків з поверхневого шару після обробки з  $v = 800$  м/хв у встановленому раціональному діапазоні значень  $S$  і  $t$  (таблиця) характеризуються збільшенням значень  $T_{ск}$  у порівнянні до еталонних зразків на  $1,6$  ч  $1,8$  °С у випадку ПС, та  $1,2$  °С ч  $2,1$  °С у випадку ПММА та мінімальними значеннями  $ДН_{сх}$ , що є наслідком орієнтаційних процесів у макромолекулярному

ланцюгу матеріалів та свідчить про формування структури в області їх високоеластичного фізичного стану. При збільшенні швидкості до  $v = 1500$  м/хв ці тенденції посилюються у всіх досліджених зразках (таблиця), що в цілому сприяє зміцненню структури поверхневого шару полімерів та покращенню їх фізико-механічних властивостей.

Отримані експериментальні залежності температури склування від температури на обробленій поверхні та розраховані залежності для температури у поверхневому шарі (рис. 6) дозволили оцінити для рекомендованих параметрів режиму різання зміну  $T_{ск}$  у поверхневому шарі товщиною  $h < 0,1$  мм. Критерієм рівноважності термодинамічного стану полімерів з літературних джерел обрано зміну величини  $T_{ск}$  в межах 2%.

Рис. 8. Товщина дефектного шару в залежності від швидкості різання при обробці ПС

Виходячи з цього, у роботі оцінено товщину поверхневого шару, у межах якого  $T_{ск}$  перевищує припустимий поріг, тобто товщину дефектного шару  $h_{деф}$ . Встановлено, що її значення зі збільшенням швидкості різання у діапазоні раціональних значень  $S$  і  $t$  зменшується як при використанні інструменту СКМ-Р, так і пластини ТС (рис. 8). На базі отриманих даних товщини дефектного шару та середнього рівня шорсткості для раціональних параметрів режиму різання ПС та ПММА проведено уточнення припусків на чистові етапи обробки.

Встановлено, що у разі використання пластини ТС для забезпечення якості поверхневого шару на етапі чистової обробки необхідно зробити лише один прохід інструментом з натурального алмазу замість передбачених двох (для ПММА) або трьох (для ПС) при використанні інструменту СКМ-Р.

Запропонована методика визначення товщини дефектного шару оброблених полімерів на основі даних зміни  $T_{ск}$  у поверхневому шару дозволяє виконувати неруйнівний контроль їх дефектності для досліджених технологічних умов процесу фрезерування.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена науково-практична задача забезпечення необхідної якості поверхневого шару виробів із термопластичних полімерних матеріалів за рахунок створення належних теплофізичних умов у зоні різання шляхом обґрунтованого вибору параметрів процесу фрезерування на етапі напівчистової обробки. За результатами роботи зроблені наступні висновки:

1. На підставі проведеного аналізу інформаційних джерел стосовно будови, процесів руйнації та деформації полімерних термопластичних матеріалів вивчено особливості зміни їх структури та властивостей під впливом теплофізичної дії та визначено необхідне методичне і програмне забезпечення для експериментальних досліджень та моделювання теплових явищ процесу обробки фрезеруванням.

2. Запропоновано комплексну методику дослідження теплових явищ у полімерних матеріалах, що оброблюються фрезеруванням, засновану на

реєстрації теплового випромінювання з обробленої поверхні та термоелектричної сили у приповерхневому шарі. Розроблено необхідне програмне забезпечення для розрахунку градієнту температури в напрямку головного руху різання, глибини прогріву та швидкості розповсюдження температури у поверхневому шарі.

3. За результатами експериментальних досліджень теплових явищ процесу фрезерування визначено вплив параметрів режиму різання та властивостей різального інструменту на динамічний стан поверхневого шару полімерних матеріалів, що дало можливість одержати регресійні залежності температури на обробленій поверхні та визначити їх коефіцієнти. Встановлено, що найбільша роль у процесі теплоутворення належить параметрам перерізу зрізу (особливо в області швидкостей  $v = 800$  ч  $1500$  м/хв) та геометричним параметрам інструменту. Перспективним є виготовлення і застосування інструменту з надтвердого дрібнозернистого матеріалу з геометрією дослідженої різальної пластини ТС.

4. Шляхом вирішення зворотної задачі створено 3D та 2D математичні моделі процесу розповсюдження тепла в полімерному матеріалі при обробці фрезеруванням залежно від технологічних параметрів режиму різання та геометрії різальної частини інструменту. За допомогою моделей визначено розподіл температури у поверхневому шарі полімерів товщиною менше  $0,1$  мм, що дозволило оцінити ступінь їх деструкції після обробки інструментом СКМ-Р та пластиною ТС з рекомендованими параметрами режиму різання.

5. Встановлено взаємозв'язок між тепловими явищами процесу фрезерування та якістю поверхневого шару полімерів ПС та ПММА. Формування стабільного термодинамічного стану матеріалу з необхідним для напівчистовій обробки рівнем шорсткості забезпечується у зоні різання при температурі, що відповідає склоподібному (до  $70$  °С для ПС та до  $90$  °С для ПММА) або високоеластичному фізичному стану ( $98$ °С –  $112$ °С для ПС и  $130$ °С –  $142$ °С для ПММА). На базі отриманих залежностей температури склування полімерів від температури їх поверхневого шару та чисельних даних моделі розраховано товщину дефектного шару та уточнено припуски на чистові операції.

6. З використанням теорії фізичної мезомеханіки за температурними залежностями питомої теплоємності поверхневого шару полімерів дана характеристика деформаційним перебудовам їх структури залежно від термомеханічної передісторії. Встановлені технологічні параметри процесу обробки, при яких деформаційне пом'якшення поверхневого шару за рахунок появи дефектів типу смуг зсуву або його деформаційне зміцнення за рахунок орієнтації макромолекулярного ланцюга не змінюють фізико-механічні властивості полімерів.

7. Результати дисертаційних досліджень впроваджено у виробництво виробів оптичного призначення з термопластичних полімерних матеріалів на основі ПС та ПММА на Харківському державному авіаційному виробничому підприємстві.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**



1. Лавриненко С.Н., Сизый Ю.А., Титаренко О.В., Мамалис А.Г. Математическое моделирование процесса распространения температурных полей при ультрапрецизионной обработке полимеров // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". - Харків: НТУ "ХПІ". - 2003. - №9. - С. 13-18.

Здобувачем сформульовано задачу теплопровідності, яка описує просторове розташування температурного поля за методом джерел тепла, що дозволило вивести загальні аналітичні рівняння.

2. Сизый Ю.А., Лавриненко С.Н., Титаренко О.В., Мамалис А.Г. Анализ модели динамики распространения температурных полей при лезвийной обработке полимеров // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2003. - Вып. 65. - С. 137-143.

Здобувачем виконано розрахунок рівняння теплопровідності та встановлено адекватність аналітичної моделі з експериментальними даними.

3. Сизый Ю.А., Лавриненко С.Н., Титаренко О.В. Идентификация положения фиктивного источника тепла при моделировании температурного поля в зоне резания при ультрапрецизионной лезвийной обработке полимеров // Високі технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ "ХПІ", 2004. - Вып.1(8) - С. 137-144.

Здобувачем виконано розрахунки рівняння теплопровідності за умов різного розташування теплового джерела, на основі яких встановлено величину інтенсивності теплового джерела.

4. Титаренко О.В. Влияние теплофизических характеристик на свойства термопластичных полимерных материалов при их обработке // Високі технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ "ХПІ", 2004. - Вып.2(9) - С. 221-226.

5. Франк А., Турнер Т., Титаренко О.В., Лавриненко С.Н. Измерение температуры в ходе обработки фрезерованием термопластичных материалов оптического назначения // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". - Харків: НТУ "ХПІ". - 2005. - №24. - С. 240-247.

Здобувачем запропоновано комплексну методику реєстрації температурного поля в полімерному матеріалі у процесі фрезерування, яка дозволяє досліджувати характер розповсюдження тепла в залежності від технологічних умов обробки.

6. Титаренко О.В., Рименшнайдер И. Создание программного обеспечения для оценки результатов температурных измерений // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2005. - Вып.69. - С. 319-324.

Здобувачем запропоновано алгоритм оцінки експериментальних даних пошарового вимірювання температури, за яким створено програмне забезпечення та виконано порівняльний аналіз залежності температури у поверхневому шарі від технологічних умов обробки.

7. Титаренко О.В. Анализ влияния теплофизических явлений процесса фрезерной обработки на внутреннее состояние полимерного термопластичного

материала // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2006. - Вып.70. - С. 466-472.

8. Лавриненко С.Н., Титаренко О.В., Мамалис А.Г. Теплофизические аспекты процесса механической обработки полимерных термопластичных материалов // Високі технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ "ХПІ", 2006. - Вып.1(12) - С. 239-244.

Здобувачем на основі експериментальних даних встановлені залежності температури від параметрів режиму різання та запропоновано раціональні діапазони їх значень для забезпечення мінімального впливу на поверхневий шар оброблюваних полімерних матеріалів.

9. Лавриненко С.Н., Титаренко О.В., Танченко А.Ю. Оценка величины деструкции полимерного термопластичного материала после лезвийной обработки фрезерованием // Резание и инструмент в технологических системах. Харьков: НТУ "ХПИ", 2007. - Вып.71. - С. 466-472.

Здобувачем запропоновано методику, яка на основі експериментально-теоретичних даних динамічного та теплофізичного стану поверхневого шару, дозволяє оцінити товщину зміненого поверхневого шару полімерів.

10. Деклар. пат. 71351А Україна, МПК В23В29/00/ С.М. Лавриненко, О.В. Титаренко; НТУ „ХПІ”. Регульований різцетримач - № 20031212184; Заяв. 23.12.2003 р.; Опубл. 15.11.2004 р., Бюл. № 11.

Здобувачем виконано патентний пошук щодо існуючих конструкцій, запропоновано окремі елементи конструкції різцетримача.

11. Lavrynenko S.N., Mamalis A.G., Titarenko O.V. Thermophysical Analysis and Modelling of Amorphous Thermoplastic Polymers Ultraprecision Single-Point Cutting // Proc. 6th euspen International Conf., V.1. - Baden bei Wien. - 2006. - P. 54-57.

Здобувачем проведено оцінку даних температури в приповерхневому шарі полімерного матеріалу під час обробки, що дозволило встановити інтенсивність теплового джерела.

12. Titarenko O.V., Frank A., Riemenschneider I.C. Thermal analysis of polymeric materials under machining conditions // Proc. 6th euspen International Conf., V.1. - Baden bei Wien. - 2006. - P. 75-78.

Здобувачем запропоновано методику дослідження динамічного стану поверхневого шару полімерних матеріалів на базі комплексних експериментальних та теоретичних досліджень теплових явищ в процесі обробки фрезеруванням.

### АНОТАЦІЇ

**Титаренко О.В. Забезпечення якості на етапі напівчистої обробки термопластичних полімерних матеріалів. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти. – Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2008.

Дисертацію присвячено вирішенню науково-технічної задачі забезпечення необхідної якості поверхневого шару термопластичних полімерних матеріалів за

рахунок створення раціональних теплофізичних умов у зоні різання на етапі напівчистої обробки. Виявлено взаємозв'язок між тепловими явищами на обробленій поверхні та у приповерхневому шарі полімерних матеріалів з якістю поверхневого шару, що враховує особливості мікрогеометрії поверхні, внутрішній енергетичний стан поверхневого шару, тип деформаційних перебудов у структурі та ступінь термомеханічної деструкції. На основі досліджень розроблено рекомендації щодо вибору параметрів технологічного процесу, що дозволило підвищити продуктивність обробки полімерів фрезеруванням та знизити кошти на придбання інструменту.

**Ключові слова:** процес фрезерування, термопластичні полімерні матеріали, якість поверхневого шару, моделювання теплових явищ, управління термомеханічною дією.

**Титаренко О.В. Обеспечение качества поверхностного слоя на этапе получистовой обработки термопластичных полимерных материалов. – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.01 – процессы механической обработки, станки и инструменты. – Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2008.

Диссертация посвящена решению научно-практической задачи обеспечения требуемого качества поверхностного слоя термопластичных полимерных материалов за счет создания рациональных теплофизических условий в зоне резания на этапе получистовой обработки.

Методической основой работы является комплексный экспериментально-теоретический подход к исследованию тепловых явлений в поверхностном слое полимерных материалов в процессе обработки фрезерованием и оценки его результирующего качества по изменению термодинамических параметров, структуры и микрогеометрии обработанной поверхности.

Решена задача по определению влияния параметров технологического процесса на закономерности распределения температуры в поверхностном слое полимерных термопластичных материалов. Получены регрессионные зависимости для температуры на обработанной поверхности полимеров ПС и ПММА при обработке инструментами из сверхтвердого синтетического алмаза марки СКМ-Р и твердосплавного материала ВК6-М. Установлено, что наиболее рациональное управление величиной теплофизического воздействия осуществляется за счет параметров сечения среза и геометрических параметров инструмента.

С помощью метода конечных элементов путем решения обратной задачи созданы математические модели, позволяющие прогнозировать тепловое состояние обрабатываемой полимерной заготовки при фрезеровании с различными технологическими параметрами и определять температуру в ее тонких приповерхностных слоях.

Выявлена взаимосвязь между термомеханической предысторией

поверхностного слоя и температурой стеклования, энтальпией, удельной теплоемкостью материала, а также структурой и шероховатостью поверхности. Установлено, что наиболее стабильное термодинамическое состояние поверхностного слоя с требуемым для полустовой обработки уровнем шероховатости обеспечивается при температуре в зоне резания, соответствующей “глубокому” стеклообразному или высокоэластическому физическому состоянию материалов. Дана характеристика деформационным перестройкам в структуре макромолекулярной цепи полимерных материалов.

Произведен неразрушающий контроль дефектности поверхностного слоя на основе полученных зависимостей изменения температуры стеклования в приповерхностном слое материалов, позволивший обоснованно назначить величину припуска на чистовые этапы обработки полимерных материалов.

Установлена целесообразность использования режущих твердосплавных пластин из материала ВК6-М. Использование пластин при создании изделий оптического назначения позволило увеличить производительность по сравнению обработкой инструментом СКМ-Р в 2 ч 2,5 раза и снизить на 15% расходы на приобретение и переточку режущего инструмента. Для расширения технологических возможностей инструмента СКМ-Р предложена конструкция регулируемого резцедержателя.

**Ключевые слова:** процесс фрезерования, термопластичные полимерные материалы, качество поверхностного слоя, моделирование тепловых процессов, управление термомеханическим воздействием.

**Titarenko O.V. Quality maintenance of the surface layer of thermoplastic polymeric materials during the semi finished machining stage. – Manuscript.**

Thesis for a Candidate of Technical Sciences degree (Ph.D.) in the speciality 05.03.01 – Machining Processes, Machines and Tools – National Technical University “Kharkov Polytechnic Institute”, Kharkiv, 2008.

This thesis is devoted to the solution of the scientific and technical problem of maintaining the surface layer quality of thermoplastic polymeric materials by creating rational thermo-physical conditions in the cutting area during the semifinished machining stage. The relation between the thermal effects on the machined surface and near-surface layers of polymeric materials with the quality of the surface layer is observed. This relation also takes into consideration the features of surface micro geometry, internal energy state of the surface layer, type of structure strain rearrangements, and the thermo-mechanical destruction ratio. The recommendations for selection of technological process parameters are developed based upon the research findings, which allows for an increase in productivity during polymer milling and a decrease in tooling costs.

**Key words:** milling, thermoplastic polymeric materials, surface layer quality, simulation of thermal effects, thermo mechanical influence control.