

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Хавіна Геннадія Львовича

**«Моделювання, оптимізація й проектування технологічних процесів
механічної обробки полімерних композиційних матеріалів»**,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.02.08 - технологія машинобудування

Актуальність теми.

В сучасному машинобудуванні чітко вимальовується вектор на підвищення частки використання полімерних композиційних матеріалів в різних виробах від автомобілів до літаків. Крім того, з'являються нові композиційні матеріали з високими міцністними характеристиками, різними наповнювачами, різною структурою. Тому виникає проблема із технологічним забезпеченням їх оброблення; пошук нових методів механічного оброблення супроводжується проблемами забезпечення вимог за якістю, необхідної продуктивності тощо. Таким чином, дисертаційна робота, метою якої є узагальнення основ механічної обробки виробів з полімерних композиційних матеріалів на основі механіки руйнування, а також оптимізація процесу їх механічної обробки є актуальною.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі Хавіна Г. Л. є цілком достатньою. Теоретичні дослідження базуються на узагальнених положеннях технології машинобудування, теорії різання, теорії руйнування та контактного руйнування, математичному аналізі і моделюванні, методах чисельного аналізу. Побудова математичних моделей різання для встановлення взаємозв'язку характеристик формоутворення від технологічних параметрів обробки використовує методи теорії руйнування. Визначення напруженого стану в контакті та розподілу температурного поля в контакті базується на методі граничних елементів. Визначення шорсткості поверхні обробленої поверхні використовує метод контактної профілометрії.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність результатів дисертаційного дослідження забезпечується коректністю постановок математичних задач, використанням перевірених методів розрахунку, моделювання, результати яких набули практичного підтвердження. Для пошуку оптимального рішення застосовано сучасні методи оптимізації – метод «рою частинок» та сірий реляційний аналіз.

До основних нових наукових результатів дисертації можна віднести наступне:

– вперше представлена теоретична концепція і математична модель процесу перерізу волокон (джгутів) полімерних композиційних матеріалів як

послідовність зародження, зростання і розвитку магістральної тріщини, удосконалено математичну модель опису появи тріщини розшарування та запропоновано оцінку фактору розшарування при обробці різними типами інструментів;

- вперше з позицій механіки руйнування обґрунтований синтез технологічних параметрів процесу обробки з фізико-механічними параметрами матеріалу та отриманий подальший розвиток теорії різання крихких композиційних матеріалів як явища локального контактного руйнування при взаємодії вершини інструменту з матеріалом;

- знайшов доробок метод призначення технологічних параметрів обробки отворів з прогнозуванням фактору розшарування і розкошлячення всередині отвору та удосконалено математичний опис взаємозв'язків якісних і кількісних показників поверхневого шару обробленого отвору і підтверджено загальні принципи управління технологічними параметрами свердління;

- запропоновано нові співвідношення, що пов'язують довжину площини контакту по обробленій поверхні, пружне віджимання і шорсткість поверхні з фізичними параметрами матеріалу і технологічними параметрами процесу;

- одержала подальший розвиток математична модель процесу зносу свердел при обробці отворів для прогнозування зношування інструменту і схема вибору технологічних параметрів обробки з урахуванням впливу цього фактору;

- отримало подальший розвиток чисельне моделювання закономірностей розподілу напружень в контакті вершини інструменту з композиційним матеріалом та оцінка інтенсивності розподілу температурного поля в осередку деформації і отримано залежності значення температури в контакті від швидкості різання;

- отримали подальший розвиток закономірності, що описують вплив складу ПКМ, напрямку обробки і геометричних параметрів інструментів на якість одержаних отворів.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

В роботі на основі створеної теорії, представлених математичних моделей і методів оптимального проектування розроблено математичне забезпечення для раціонального вибору типу інструменту, визначення оптимальних технологічних параметрів і гарантованого прогнозування якості отриманої обробки для операцій точіння та свердління. Значимість для машинобудівної галузі полягає в побудові оптимальних технологічних процесів механічної обробки полімерних композиційних матеріалів із забезпеченням мінімального розшарування і розкошлячення поверхні обробки. Запропоновано методику розрахунку технологічних параметрів точіння і свердління в залежності від типу інструменту, марки матеріалу заготовки і вимог до якості поверхневого шару ПКМ.

Результати роботи впроваджені у виробництво, про що свідчать акти впровадження і в навчальний процес на кафедрі технології машинобудування та металорізальних верстатів національного технічного університету «ХПІ».

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Основний зміст та результати дисертаційної роботи опубліковані у 35 наукових публікаціях, серед яких 1 монографія у співавторстві, 28 статей у наукових фахових виданнях України (5 – у наукометричних базах), 5 статей у закордонних періодичних фахових виданнях, 2 – у матеріалах конференцій, що повністю відповідає вимогам МОН України.

Оцінка змісту дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Хавіна Г. Л. складається зі вступу, восьми розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, додатків. Повний обсяг дисертації – 361 сторінка, куди входять 123 рисунки, 17 таблиць, перелік використаних джерел з 321 найменувань, 8 додатків на 59 сторінках.

У вступі обґрунтовано актуальність і доцільність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та завдання, визначено об'єкт, предмет та методи дослідження, наукову новизну і практичну цінність роботи.

Перший розділ присвячений визначенню науково-технічної проблеми на базі аналізу проблем виробництва і результатів досліджень інших науковців за темою. Відзначено, що висока анізотропія властивостей композитів, їх неоднорідність і ряд інших специфічних властивостей вимагають спеціальних підходів до технології обробки, вибору інструментів і призначення режимів різання. Природна відмінність композитів також вимагає спеціальних підходів до призначення і вибору оптимальних технологічних параметрів обробки. Тому аналіз контактної взаємодії інструмента і заготовки при механічній обробці являє собою складну математичну задачу. На підставі загального стану задачі технологічного забезпечення механічної обробки ПКМ сформульовано основні напрямки і перспективні можливості її вирішення.

Представлений аналітичний огляд наукових досліджень, який можна вважати достатньо вичерпним, дозволив сформулювати мету і задачі дисертаційної роботи.

Другий розділ представляє визначені дефекти обробки, що виникають при точінні та свердлінні ПКМ. Розроблена класифікація показників пошкодження, що виникають при свердлінні композитів. Для оцінки рівня руйнування навколо просвердленого отвору використовується підхід представлення фактору розшаровування як функції від різних параметрів процесу: подачі, швидкості і радіуса свердла, у вигляді певного співвідношення. Під час свердління перерізані скляні волокна утворюють геометричну неточність отвору у вигляді колокоподібності на вході і розпушування на вихідній площині отвору. Ці дефекти є результатом розщеплення волокон і розтріскування матриці, які вносять вклад в пружне відновлення матеріалу, що приводить до скорочення діаметру отвору. Якість отворів для твердосплавного свердла краще, ніж для швидкорізальної сталі для однакових умов різання. Фактор розшаровування вище при роботі інструментом зі швидкорізальної сталі, ніж для твердого сплаву. Таким чином, розшарування і розкошачення у будь-якому випадку супроводжують свердління ПКМ і їх розподіл та інтенсивність визначаються діаметром отвору, товщиною заготовки і технологічними параметрами обробки.

У третьому розділі обґрунтовано інструментальне забезпечення операцій точіння та свердління отворів у ПКМ. При точінні використовується традиційний інструмент з твердого сплаву з різними геометричними характеристиками. При свердлінні застосовуються свердла з нормальним або подвійним заточенням або спіральні свердла з підрізаними різальними крайками зі швидкорізальної сталі і твердого сплаву. Проаналізовано широкий спектр спіральних свердел з різною формою заточування, а також інструмент, оснащений твердосплавними пластинами і перовий інструмент.

Визначено, що особливості застосування універсального спірального свердла в основному полягають у тому, що свердління вимагає досить високого тиску і при обробці глибоких отворів свердла мають схильність забиватися продуктами різання. Головною перевагою є його універсальність і низька вартість. Модифікації геометрії традиційного спірального свердла здійснюють за рахунок особливостей заточування, підточення і затилювання вершини свердла. Ці модифікації умовно розділені на дві категорії: незначні зміни класичного спірального свердла, пов'язані з «підточенням» і «затилюванням» вершини свердла, та значні, коли відбуваються суттєві зміни або тільки на задній поверхні, або на обох поверхнях задньої і в області поперечної різальної кромки, а також зміни стружечної канавки і передньої поверхні.

Наведені особливості застосування свердел різної форми і з різним заточуванням, які орієнтовані на свердління окремих класів композиційних матеріалів. Але при переході до свердління композитів з іншою структурою в більшості випадків позитивного ефекту досягти не вдається. Таким чином, на підставі аналізу інструментального забезпечення свердління ПКМ за такими критеріями, як якість обробленої поверхні, стійкість інструменту та його вартості пріоритет віддається традиційному спіральному свердлу з твердого сплаву. Основні переваги такого рішення є висока стійкість свердла, можливість достатньої кількості переточувань, невелика вартість свердел і широка номенклатура типорозмірів.

Четвертий розділ присвячений моделюванню контактної взаємодії інструменту і матеріалу, розробці моделі контактного руйнування з використанням положень лінійної механіки руйнування.

Доведено, що побудова моделі деформування і руйнування ПКМ з позицій механіки руйнування і механіки контактного руйнування є доцільним засобом отримання інтегральної оцінки процесу деструкції і, поперед усього, оцінити напружено-деформований стан (НДС) і теплове становище волокон і матриці ПКМ в зоні різання. Специфіка опису НДС в процесі різання ПКМ визначається чітко вираженою анізотропією властивостей самого матеріалу, де наповнювач має високу міцність і твердість. Матеріал має різну поведінку при обробці уздовж або поперек волокон. Суттєвим чином на напружений стан впливає схема армування ПКМ. Дослідження особливостей процесу різання конструкційних ПКМ дозволило зробити висновок про крихкий або квазікрихкий характер руйнування (деструкції) матеріалу при обробці. При цьому ПКМ зберігає свої пружні властивості до самого акту порушення суцільності (тріщиноутворення і відриву). Експериментальні дослідження

показали, що НДС таких матеріалів при різанні є пружним на протязі усього процесу навантаження. Власно руйнування (акт відділення фрагменту матеріалу) супроводжується утворенням багаточисленних макро- та мікротріщин, що описуються моделлю крихкого руйнування.

Сформована розрахункова схема визначення напружено-деформованого стану ПКМ (конструкційного склопластика) в процесі його обробки різанням. Загальне формулювання процесу різання ПКМ представляється як косе заглиблення абсолютно жорсткого тіла в пружне напівпростір, що викликає зародження і розвиток мікротріщин, які розповсюджуються у двох напрямках. Тріщина в процесі навантаження рухається у волокні і приводить до видалення фрагменту матеріалу; інша рухається уздовж границі скловолокно – зв'язка і приводить до порушення адгезійного зв'язку.

Саме в цьому розділі розроблені засади моделювання процесу різання як спрямованого руйнування полімерного композиційного матеріалу в процесі свердління та точіння, що стало підґрунтям створення технології обробки та вибору оптимальних режимних параметрів процесу. В моделюванні процесу різання ПКМ як задачі механіки локального контактного руйнування поруч із питаннями зародження, розвитку і нестійкого руху магістральної тріщини, що перерізує волокно (джгут), найбільш важливим є запобігання розриву адгезійного зв'язку уздовж границі «зв'язка – наповнювач». Таким чином, ефект перерізу є наслідком магістрального руху тріщини, старт якої визначається в залежності від виконання одного з критеріїв: або максимальне значення коефіцієнта інтенсивності напружень (КІН) досягає критичного значення, або довжина тріщини приймає значення критичної довжини тріщини.

Основним інструментом для теоретичного дослідження руйнування в контакті інструменту із шаруватим композитом є енергетичний критерій лінійної механіки руйнування, який ґрунтується на описі поля напружень біля вершини тріщини в лінійно-пружному матеріалі. Енергетичний критерій впливає з аналізу зміни повної потенційної енергії системи при її малих кінцевих відхиленнях від положення рівноваги. При цьому визначаються умови, при яких в деякій області біля початкового рівноважного стану може існувати збурений рівноважний стан. Ці умови, що описують суміжний з вихідним збурений рівноважний стан, формулюються у вигляді варіаційного принципу стійкості. Розроблена модель утворення міжшарової тріщини при свердленні шаруватого композиту звичайним спіральним свердлом і свердлом з підрізаючими кромками.

Головне, що енергетичний аналіз свердління спіральним свердлом, дає співвідношення для критичної осьової сили. Дані співвідношення дозволяють визначити для заданої осьової сили величину товщини відшаровування по нижній поверхні. Питання про величину самого розшарування отримати не можна. Для якісної експлуатації просвердленого отвору необхідно мати уявлення не тільки про глибину залягання тріщини розшарування, а й власне про її величину. У більшості практичних застосувань задається граничне значення глибини відшаровування або максимальне значення фактору розшарування. При цьому є невизначеність щодо значення величини

поширення тріщини в поздовжньому напрямку і як пов'язати розрахунок цієї величини з режимними параметрами обробки, геометрією свердла і його стійкістю.

Розшарування односпрямованого композиту уздовж волокон завжди випереджає руйнування зсувом в цьому напрямку і перш, ніж волокно перед фронтом зруйнується (рух тріщини), матриця завжди буде деформована зрушенням. Для композиційних склопластиків типу крихке волокно–крихка матриця домінуючим в процесі руйнування при різанні є руйнування волокон або джгутів. Всі види дисипації енергії, властиві композитам при руйнуванні за рахунок руху магістральної тріщини, крім руйнування наповнювача, є несуттєвими.

Визначено, що максимальне значення дотичного напруження, відповідального за зрушення, досягається при значенні переднього кута 15° . Компонента нормальної напруги у напрямку руху – стискаюча невисокої інтенсивності, уздовж перпендикулярного напрямку – розтягуюча з високою інтенсивністю, що свідчить про те, що руйнування має тенденцію реалізовуватися за рахунок зсуву–відриву. Зменшення переднього кута до негативних величин призводить до відсутності по лінії зрізу напружень зрізу, значного погіршення загального рівня напруженого стану для зсуву і відриву. Для негативних кутів змінюється характер руйнування зсувом на руйнування відривом не по лінії зрізу, а вище по координаті.

У **п'ятому розділі** наведено результати моделювання силових факторів та температурного поля, де основним питанням для всіх процесів механічної обробки є моделювання сил різання, які, з одного боку, відповідають за споживану енергію протягом процесу обробки і, з іншого боку, визначають знос інструменту. В процесі свердлінні визначені два механізми стружкоутворення. Один для крихких матеріалів через механізм руйнування шляхом проростання тріщини і другий, режим в'язкої обробки, що включає в себе видалення матеріалу через пластичну деформацію (як протилежність крихкому руйнуванню). При механічній обробці ПКМ має місце крихке руйнування, що визначає особливий підхід до розрахунку силового навантаження. На теперішній час теоретичні аналітичні залежності для діючих сил різання базуються на застосуванні співвідношень з теорії різання металів. Ці співвідношення модифіковано та пристосовано до опису силового навантаження при різанні крихких матеріалів.

Енергетичний критерій впливає з аналізу зміни повної потенційної енергії системи при її малих кінцевих відхиленнях від положення рівноваги. При цьому визначаються умови, при яких в деякій області біля початкового рівноважного стану може існувати збурений рівноважний стан. Ці умови, що описують суміжний з вихідним збурений рівноважний стан, формулюються у вигляді варіаційного принципу стійкості.

Виконано чисельне моделювання теплових явищ при ортогональному різанні ПКМ методом граничних елементів. На межі поділу матеріал–інструмент по задній поверхні має місце виділення тепла тертя, яке використовується при моделюванні для прогнозування розподілу температури.

Тепло від пластичних деформацій не враховується, тому що матеріал має високі пружні властивості при малих деформаціях. Вирішальне значення при свердлінні відводиться генеруванню тепла тертя по задній поверхні.

У шостому розділі наведено проектування технологічного процесу обробки ПКМ і призначення головних режимних факторів обробки – подачі і частоти обертання шпинделя. Стратегія призначення режимів механічної обробки ПКМ, з одного боку, повинна забезпечувати максимальну продуктивність процесу, а з іншого боку виконання вимог до якості, і, в першу чергу, відсутності розшаровування, припикання і ворсистості. Крім того, абразивний характер системи волокон призводить до інтенсивного зносу інструменту, що вимагає зменшення швидкості обробки.

На підставі практичного досвіду та лабораторних досліджень сформульовано декілька якісних закономірностей по вибору технологічних параметрів обробки та марки і типу інструменту. По-перше, зменшення величини поперечної різальної кромки найістотнішим чином призводить до зменшення осьової сили. По-друге, фактор розшаровування (область руйнування на виході інструмента із заготовки) зростає зі збільшенням швидкості і подачі.

В роботі запропоновано призначення технологічних (режимних) параметрів обробки з урахуванням особливості розшарування і гарантованої наявності розкошлячення на основі виконання поетапних ітерацій.

Сьомий розділ присвячено постанові та рішенню задачі оптимізації технологічного процесу механічної обробки полімерних композитів. Запропоновано розглядати задачу оптимізації технологічного процесу як реалізацію одного з завдань, які стосуються забезпеченню якості.

Також сформульоване завдання оптимізації силового навантаження: для заданої марки оброблюваного матеріалу (з відомими фізико-механічними характеристиками), марки інструментального матеріалу і типу інструменту необхідно обрати геометричні характеристики інструменту (передній і задній кут, головний кут в плані або кут при вершині свердла) і технологічні режими різання (подачу, частоту обертання шпинделя, глибину різання або діаметр свердла) такі, щоб силові елементи процесу механічної обробки були мінімальні. Обмеженнями при вирішенні задачі оптимізації цільової функції з багатьма змінними приймається виконання умов по глибині розшарування, шорсткості і температурі.

Для вирішення завдання пошуку оптимального рішення використано алгоритм «рою частинок», який дозволяє здійснювати пошук глобального екстремуму у заданому інтервалі змін технологічних параметрів.

Для обробки експериментальних даних, що сформовані у вигляді таблиць зміни вимірних значень різних фізичних величин (осьової сили і крутного моменту, діаметру пошкодження на виході інструмента із заготовки, шорсткості поверхні, зносу інструменту, температури та інше) від технологічних параметрів обробки (подачі, частоти обертання шпинделя) та геометричних даних інструменту (кутів заточування, зносу) розроблено алгоритм методу «сірого реляційного аналізу», що реалізований у вигляді

програмного забезпечення Це дозволяє виключно точно визначити поєднання технологічних параметрів (для обраного інструменту), що забезпечують найкращі показники при обробці у діапазоні їх зміни. Вирішена задача пошуку значень подачі, частоти обертання шпинделя і головного кута в плані які забезпечують мінімальне значення шорсткості і фактору розшарування при свердленні епоксидного склопластику свердлом з твердого сплаву K10.

У **восьмому** розділі наведені рішення прикладних задач, щодо моделювання технологічного процесу механічної обробки, у яких досліджується вплив геометричних параметрів інструменту – переднього, заднього кутів, головного кута, при точінні склопластику, та задач про виявлення впливу режимних параметрів обробки на розподіл напружень у контакті, розподіл температурного поля, зношування інструменту.

Для операції свердління ПКМ виконано дослідження впливу параметрів свердління на зношування інструменту і величину фактору розшарування. Вирішено задачу свердлення вуглепластику марки T300/5208 з об'ємним вмістом волокон 55%. Свердління заготовки товщиною 30 мм здійснено свердлом з твердого сплаву BK8 діаметром 10 мм на повну глибину. Обрано спіральне свердло з нормальною заточкою. Отримано залежності величини глибини початку розшарування від величини подачі. Використовуючи емпіричні залежності для шорсткості і швидкості різання при заданому значенні стійкості інструменту, одержані співвідношення, що пов'язують задане граничне значення глибини початку розшарування з величиною подачі та швидкості різання.

Аналогічно для подачі побудовано залежність швидкості свердління від глибини початку міжшарового руйнування. Наявність цієї залежності дозволяє, використовуючи емпіричне вираження для прогнозованої шорсткості, розрахувати значення шорсткості як функцію заданої глибини початку міжшарового руйнування. Отримане співвідношення, що зв'язує величину шорсткості обробленого отвору і величину глибини розшарування, дозволяє на стадії розрахунку режимів свердління визначити при необхідності величину початку розшарування або шорсткості проектованої операції свердління шаруватого композиту.

Таким чином, аналізуючи отримані розрахункові результати визначено, що діапазон зміни величини подачі при свердлінні композиційних матеріалів 0,08 – 0,60 мм/об у більшості випадків гарантує утворення міжшарових дефектів у вигляді розшарування на глибині не більше ніж 1 мм по нижній кромці заготовки. Отримані результати справедливі при свердлінні односпрямованого полімерного композиту спіральним свердлом із твердого сплаву.

Аналіз результатів і їх порівняння з експериментальними даними показали, що у якості граничної глибини різання рекомендується значення не більш 1 мм, швидкість різання не більше 3 м/с, подачу не більш 0,3 мм/об. Виконання таких умов при обробці склопластику гарантує відсутність термодеструкції сполучного і, як наслідок, відсутність його налипання на задню поверхню інструмента. Прийняття таких мір забезпечує достатньо високу

стійкість інструменту при виконанні заданих вимог до якості обробленої поверхні.

До опису процесу зносу вершини різця при різанні ПКМ застосовано модель абразивного зносу. Визначені закономірності використовуються в математичному забезпеченні розрахунку оптимальних режимів різання композитів і прогнозуванні якості обробленої поверхні з урахуванням зміни геометрії ріжучого інструменту з часом. Прийнято, що залежність величини зносу носить спадковий характер і в більшості випадків має місце степінний зв'язок інтенсивності (швидкості) зношування від тиску і швидкості контактної взаємодії

У **додатках** наведено види і типи універсального інструменту, який використовується при точінні і свердлінні ПКМ; результати аналізу напружено-деформованого стану в контакті інструмент–композит та вплив на його розподіл геометричних параметрів різців, що отримані чисельним моделюванням методом граничних елементів; відомі з науко-технічної літератури емпіричні залежності розрахунку силових факторів для різних типів інструментів і фактору розшарування при обробці ПКМ; залежність максимальної температури в контакті від технологічних факторів; опис математичного забезпечення рішення задач оптимізації методом «рою частинок» і «сірого реляційного аналізу»; опис математичного забезпечення, що реалізує наукові положення дисертації для рішення прикладних виробничих задач; акти впровадження практичного застосування результатів дисертаційної роботи у виробництво на ПАО «ФЕД» та АО «ХАРП».

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

1. В меті дослідження (до речі і в назві роботи) на перше місце висунуто моделювання, а потім вже технологія і оптимізація. Коректніше було б поміняти їх місцями, тому що мета дисертації за технічними науками – це все ж таки технологія і оптимізація, засобами моделювання.

2. Пункт наукової новизни про запропоновані нові співвідношення, що пов'язують довжину площини контакту по обробленій поверхні, пружне віджимання і шорсткість поверхні з фізичними параметрами матеріалу і технологічними параметрами процесу на мій погляд недостатньо підтверджений в дисертації. Наведена всього одна таблиця для розточування, яка представляє емпіричні залежності з посиланням [288] чомусь на працю іншого автора.

3. В роботі при визначенні режимів оброблення полімерних композиційних матеріалів цілком справедливо ставиться задача оптимізації. Проте, в деяких формулюваннях (наприклад у сьомому розділі) пропонується проводити оптимізацію, у тому числі і багато параметричну, за критерієм якості, що, на мій погляд є спірним, оскільки якість має бути використана у якості обмежень (тобто, не гірше, ніж визначено на вимогах креслення), а критерієм має бути продуктивність – до максимуму. Крім того, запропонована цільова функція (стор.21 автореферату, стор.229 дисертації) не містить в собі параметрів, що управляються, в явному вигляді (подача, швидкість, геометрія тощо).

4. При застосуванні методу вирішення задач пошуку оптимального рішення за алгоритмом «рою частинок» інтерфейси, що ілюструють процес (рис.8 автореферату, рис.Ж2 дисертації) зовсім не інформативні: немає позначень величин за осями координат в компоненті “TChart”, виведені на інтерфейс таблиці не відповідають значенням, що представлені на формі (X1, X2) та інше.

5. Бажано було б результати досліджень в частині призначення оптимальних режимів різання орієнтувати на верстати з ЧПК, тобто пропонувати закони управління цими складовими режиму різання в циклі свердління з урахуванням етапу (врізання, сталий процес, вихід).

6. Не можна погодитись з представленням важливих, на мій погляд, результатів в додатках, яких аж 7. Це заважає логічному, послідовному ознайомленню з викладеним матеріалом.

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Хавіна Геннадія Львовича **«Моделювання, оптимізація й проектування технологічних процесів механічної обробки полімерних композиційних матеріалів»** за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.02.08 – технологія машинобудування. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв’язує важливу науково-технічну проблему. Дисертаційна робота відповідає вимогам п. п. 9, 10, 12 “Порядку присудження наукових ступенів”, щодо докторських дисертацій, а здобувач Хавін Геннадій Львович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування.

Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри технології машинобудування
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут

Петраков Ю.В.

Відгук засвідчено

Вчений секретар НТУУ «КПІ»

Мельниченко А.А.