

Секція: Машинобудування

Назва напряму секції:

1-ий: 7. Процеси фізико-технічної обробки. 7.4. Теорія фізико-технічної обробки матеріалів з метою формоутворення або зміцнення їх властивостей.

2-ий: 4. Процеси механічної обробки, верстати та інструменти. 4.1. Механічна обробка матеріалів. Теорія різання матеріалів. Математичне і комп'ютерне моделювання процесів механічної обробки

АНОТОВАНИЙ ЗВІТ

за завершеним прикладним дослідженням або завершеною науково-технічною (експериментальною) розробкою, виконання яких здійснювалось у 2018-2020 роках

Назва прикладного дослідження або науково-технічної (експериментальної) розробки (далі – дослідження або розробки): Комп'ютерно-інтегровані системи проектування та виготовлення складних фасонних поверхонь на основі сучасних процесів формоутворення

Керівник дослідження або розробки: Охріменко Олександр Анатолійович

Номер державної реєстрації: 0118U002071

Номер облікової картки заключного звіту: 0221U0221

Найменування організації-виконавця: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Назва пріоритетного тематичного напряму організації-виконавця: 3.6. Нові речовини і матеріали. 3.6.1. Перспективні наукові дослідження з метою створення високотехнологічної наукоємної продукції, передових базових технологій в машинобудуванні.

Строки виконання: початок - 01.01.2018, закінчення - 31.12.2020

Обсяг коштів, виділених на виконання дослідження або розробки за весь період (згідно із запитом / фактичний): 2000 / 1,500 тис. гривень.

1. КОРОТКИЙ ЗМІСТ ЗАПИТУ (до 30 рядків тексту)

1.1. Проблема, на вирішення якої було спрямовано прикладне дослідження або прикладну розробку: Робота присвячена розробці та впровадженню нових способів та процесів виготовлення складних фасонних поверхонь з використанням концентрованих потоків енергії для різних типів матеріалів та способами механічної обробки за рахунок розробки нових інструментів на основі яких розширюється функціональне призначення інструменту обробки для складних фасонних поверхонь.

1.2. Об'єкт і предмет дослідження або розробки: Об'єкт дослідження , є процеси формоутворення складних фасонних поверхонь при фізико-технічній та механічній обробці матеріалів.

Предметом дослідження є закономірності фізико-технічних та механічних процесів обробки поверхонь, які відбуваються при виготовленні виробів зі складними фасонними поверхнями та створення на їх базі відповідних комп'ютерно-інтегрованих технологій їх виробництва.

1.3. Мета і основні завдання дослідження або розробки: Метою роботи є розробка нової технології виготовлення складних поверхонь шляхом комп'ютерної інтеграції систем і процесів формоутворення на основі нових принципів математичного опису систем формоутворення, їхніх елементів, геометричних і кінематичних, фізичних показників, як самого процесу виготовлення так і процесів експлуатації деталей зі складними поверхнями.

1.4. Коментар. (надати обов'язково у випадку, якщо відбувалися коригування мети, предмету дослідження або розробки, основних завдань, відхилення від запланованого календарного плану роботи):

2. ОПИС ПРОЦЕСУ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ АБО РОЗРОБКИ (до 50 рядків тексту)

2.1. Описати підхід щодо проведення дослідження або розробки, визначити, у чому

його (ii) новизна: При виконанні проекту використовуватись класичні методи досліджень, які велись по ряду напрямків. Розглянуті інтерактивні способи керування формоутворенням складної поверхні: шляхом приміщення вихідної поверхні за допомогою функціональних залежностей геометрії поверхні й параметрів простору й, надалі, перетворення простору разом з поверхнею щодо нерухомого простору; шляхом зміни внутрішніх параметрів функціональних залежностей, що описують складну поверхню. Політканинні перетворення, як один зі способів деформації простору, що дозволить управляти геометрією поверхні з будь-яким її математичним описом, і допоможе створювати комп'ютерно-інтегровані системи формоутворення, засновані на єдиному математичному описі с загальними керуючими параметрами, це потребує необхідність встановлення первинних функціональних зв'язків з новою системою для кожного виду математичного опису поверхонь, що є придатним для всіх видів обробки.

Також, проводилось моделювання процесу лазерного нагріву та розрахунків наведених напружень та деформацій, при різних умовах опромінення, що дало змогу керувати формою поверхні листового матеріалу без застосування штампувального обладнання. Проведено дослідження структури зон формування проводиться з використанням оригінальних методик та сучасного обладнання. Зроблено вивчення структури, фазового складу, розподілу елементів. Визначено параметрів міцності та експлуатаційних характеристик отриманих виробів фасонних листових виробів.

2.2. Розкрити основні ідеї дослідження або розробки, як вони втілювались: Основна науково-технічна ідея роботи була в у тому що за допомогою лазерного випромінювання та в комбінації з плазмовим струменем, в матеріалі формували теплове поле з потрібними параметрами, яке викликало появу внутрішніх напружень, які спричиняли пластичну деформацію листового матеріалу. Керуючи цим процесом можна отримували деталі складної форми. Для отримання складно-профільних поверхонь, проводити послідовне опромінення заготовки, варіюючи траєкторіями та розташовуючи зони обробки за певним законом.

При механічній обробці за рахунок розробки уніфікованого представлення складних поверхонь деталей, що обробляються були розроблені алгоритми та методики розробки спеціального інструменту, спеціальних технологій обробки заданих поверхонь і на їх основі створення єдиних методик, алгоритмів і програмного забезпечення для автоматизації процесу формоутворення при різних способах обробки, що дозволило зменшити витрати та часу при виготовленні нових виробів.

2.3. Навести основні гіпотези дослідження або розробки, як вони підтверджувались або спростовувались, визначали формування науково-прикладних результатів: Основні гіпотези це розроблення методик інтерактивного способу керування формоутворенням складної поверхні: шляхом приміщення вихідної поверхні за допомогою функціональних залежностей геометрії поверхні й параметрів простору, що було підтверджено шляхом розробки програмного забезпечення. Також впроваджено нові способи та процесів виготовлення складних фасонних поверхонь з використанням концентрованих потоків енергії для різних типів матеріалів, що реалізовано в даній роботі.

2.4. Представити нові або оновлені методи та засоби, методика та методологію дослідження або розробки, що створені авторами у ході виконання дослідження або розробки; обґрунтувати, чим вони відрізняються від існуючих: В ході роботи на базі розробленої теорії інтерактивних способів керування формоутворенням складної поверхні: шляхом приміщення вихідної поверхні за допомогою функціональних залежностей геометрії поверхні й параметрів простору, розроблено програмне забезпечення, що інтегрується з CAD/CAM системами, а саме програмне забезпечення «СОРТеR» для керування простором шляхом політканинних перетворень, програмне забезпечення «COSET» для керування формою складної поверхні, програмне забезпечення «APACE» для апроксимації масиву точок кривими Безье 3-го порядку, програмне забезпечення «SCOT» для визначення контактних точок функціональних поверхонь, програмне забезпечення «SALAT» для комплексного параметричного моделювання систем і процесів формоутворення та на цій основі розроблено нові методи формоутворення гіперболоїдних зубчастих коліс, метод полірування магніто-абразивним порошком на універсальному зубофрезерному верстаті за допомогою дискового інструменту зі зміщеним центром, та розроблені основні положення формоутворення арочних зубчастих коліс. Існуюче наявне програмне забезпечення не має аналогів що розроблених програм.

Також розроблено новий метод двопроменевого лазерного формоутворення виробів з листових

матеріалів, його технологічне забезпечення, що значно розширює можливості процесу та підвищує його керованість, дозволяє з високою продуктивністю виготовляти вироби складної конфігурації з листів вдвічі-втричі більшої товщини (в тому числі з важкодеформівних матеріалів), ніж при альтернативних способах обробки, дає можливість знизити металоємність конструкцій при підвищенні жорсткості, уникнути використання високовартісного спеціального устаткування, що особливо важливо в умовах дрібносерійного та штучного виробництва. Це дозволяє відмовитись від штамповочного оснащення, що складає значну вартість при виробництві таких виробів.

2.5. Описати особливості структури та складових виконання дослідження або розробки: Структура та складові виконання при виконанні досліджень були наступні: стан теорії формоутворення складних фасонних поверхонь при фізико-технічній та механічній обробці матеріалів; математичне забезпечення керування формою функціональних поверхонь зубчастих коліс на основі уніфікованих керуючих параметрів; узагальнений опис функції формоутворення зубчастих коліс; геометричні та кінематичні показники процесу формоутворення функціональних поверхонь; комп'ютерна інтеграція систем і процесів формоутворення функціональних поверхонь зубчастих коліс; теоретичне дослідження процесу лазерного формоутворення металевих виробів; технологічні закономірності процесу лазерного формування та характеристики якості отриманих виробів, практична реалізація та впровадження результатів.

3. ОДЕРЖАНІ НАУКОВО-ПРИКЛАДНІ РЕЗУЛЬТАТИ (до 100 рядків тексту)

3.1. Результати етапів (відповідно до технічного завдання) відобразити у таблиці:

Таблиця 1

Номер етапу, строки	Назва етапу згідно з техн. завданням	Заплановані результати	Отримані результати
1. з <u>01.01.2018</u> по <u>31.12.2018</u>	Провести аналіз сучасного стану та перспектив розвитку теорії формоутворення складних поверхонь при фізи-ко-технічній та механічній обробці в частині її інтеграції з сучасними комп'ютерними технологіями. Проведення аналізу силових та теплових способів формоутворення листових матеріалів. Теоретично дослідити структурні зміни в матеріалах в процесі лазерного формоутворення. Сформулювати	Залежності та моделі для опису лазерного багато прохідного формоутворення із врахуванням структурно-фазових перетворень, що про-тікають в матеріалах при швидкісному нагріванні та охолодженні. Новий математичний апарат опису інтерактивного управління геометрією формоутворюваних елементів за рахунок перетворення простору, в яке поміщається складна крива або поверхня шляхом встановлення функціональних залежностей між математичним описом формоутворюючого елемента і політканниною системою координат. Методика створення нових складних поверхні за єдиним алгоритмом тільки за рахунок зміни	Розроблені залежності та моделі для опису лазерного багато прохідного формоутворення із врахуванням структурно-фазових перетворень, що протікають в матеріалах при швидкісному нагріванні та охолодженні. Запропоновано новий математичний апарат опису інтерактивного управління геометрією формоутворюваних елементів за рахунок перетворення простору, в яке поміщається складна крива або поверхня шляхом встановлення функціональних залежностей між математичним описом формоутворюючого елемента і політканниною системою координат. Отримано методика створення нових складних поверхні за єдиним алгоритмом тільки за рахунок зміни керуючих точок нової системи координат, не залежно від первісного вигляду математичного опису поверхні.

Номер етапу, строки	Назва етапу згідно з техн. завданням	Заплановані результати	Отримані результати
	<p>задачі математичного моделювання процесу лазерного багато прохідного формоутворення із врахуванням структурно-фазових перетворень, що протікають в матеріалах при швидкісному нагріванні та охолодженні. Розробити принципи формування математичної моделі інтерактивного управління кривими і поверхнями, які враховували б можливість наскрізної параметризації елементів систем формоутворення, геометричних і кінематичних показників і сприяли б інтеграції з автоматизованими системами проектування, виготовлення, аналізу і контролю.</p>	<p>керуючих точок нової системи координат, не залежно від первісного вигляду математичного опису поверхні. Методика визначення можливості застосування відомих методів формоутворення фасонних складних поверхонь, та їх використання за конкретних умов виробництва, можливість їх комп'ютеризації.</p>	
<p>2. з <u>01.01.2019</u> по <u>31.12.2019</u></p>	<p>Проведення моделювання лазерного формоутворення фасонних поверхонь з листових матеріалів. Розробка методики</p>	<p>Експериментальний стенд для проведення дослідів з формоутворення листових матеріалів методом лазерного формоутворення. Методика проведення експериментальних досліджень та стратегія формування складно-</p>	<p>Розроблено методику проведення експериментальних досліджень та стратегія формування складно-профільних виробів, методика перевірки експлуатаційних характеристик сформованих виробів в умовах робочих силових та теплових навантажень. Отримано нові способи параметризації</p>

Номер етапу, строки	Назва етапу згідно з техн. завданням	Заплановані результати	Отримані результати
	<p>проведення експериментальних досліджень. Розробка методики перевірки експлуатаційних характеристик сформованих виробів. Розробити методи параметризації кінематичних схем формоутворення, уніфікувати їх математичний опис і розглянути можливості розширення їх класифікації. Розробити математичний опис геометро-кінематичних показників, як елементів візуального аналізу ефективності процесу формоутворення складних поверхонь, що залежать від уніфікованих керуючих параметрів системи формоутворення.</p>	<p>профільних виробів, методика перевірки експлуатаційних характеристик сформованих виробів в умовах робочих силових та теплових навантажень. Нові способи параметризації кінематичних схем формоутворення, засновані на матричному поданні, що дозволяє уніфікувати їх математичний опис і розробляти механізми інтерактивного управління структурою систем формоутворення. Програмний модуль, що дозволяє прогнозувати результати формування та обирати режим обробки в залежності від заданих параметрів продуктивності та точності формування. Експериментальні зразки отриманих деталей зі складними поверхнями.</p>	<p>кінематичних схем формоутворення, засновані на матричному поданні, що дозволяє уніфікувати їх математичний опис і розробляти механізми інтерактивного управління структурою систем формоутворення.</p>
<p>З. з <u>01.01.2020</u> по <u>31.12.2020</u></p>	<p>Проведення експериментальних досліджень формування фасонних виробів за допомогою локального лазерного нагрівання. Дослідження</p>	<p>Технологічні та практичні рекомендації по застосуванню лазерного формування для формування складно профільних фасонних виробів із листового матеріалу, а також рекомендації по вибору обладнання для цього</p>	<p>Розроблено програмне забезпечення «СОРТеR» для керування простором шляхом політканинних перетворень, програмне забезпечення «COSET» для керування формою складної поверхні, програмне забезпечення «APACE» для апроксимації масиву точок кривими Безьє 3-го порядку,</p>

Номер етапу, строки	Назва етапу згідно з техн. завданням	Заплановані результати	Отримані результати
	<p>експлуатаційних характеристик сформованих виробів в умовах силових та теплових навантажень. Розробити нове методичне, алгоритмічне і програмне забезпечення, яке в сукупності реалізують комп'ютерно-інтегровану систему забезпечення формоутворення деталей складної форми періодичного профілю.</p>	<p>процесу. Конструкції пристосування для виготовлення фасонних поверхонь за допомогою лазерного нагрівання. Алгоритми, методики та програмне забезпечення для інтерактивного управління формоутворенням складних поверхонь періодичного профілю, уніфікація керуючих параметрів, визначення контактних точок, оптимізаційного синтезу складних поверхонь, яке буде інтегруватись в сучасні CAD/CAM системи.</p>	<p>програмне забезпечення «SCOT» для визначення контактних точок функціональних поверхонь, програмне забезпечення «SAIAT» для комплексного параметричного моделювання систем і процесів формоутворення Розроблено нові методи формоутворення гіперболоїдних зубчастих коліс, запропоновано метод полірування магніто-абразивним порошком на універсальному зубофрезерному верстаті за допомогою дискового інструменту зі зміщеним центром, та розроблені основні положення формоутворення арочних зубчастих коліс. Існуюче наявне програмне забезпечення не має аналогів що розроблених програм. Розроблено новий метод двопроменевого лазерного формоутворення виробів з листових матеріалів, його технологічне забезпечення, що значно розширює можливості процесу та підвищує його керованість, дозволяє з високою продуктивністю виготовляти вироби складної конфігурації з листів вдвічі-втричі більшої товщини (в тому числі з важкодеформівних матеріалів), ніж при альтернативних способах обробки, дає можливість знизити металоємність конструкцій при підвищенні жорсткості, уникнути використання високовартісного спеціального устаткування, що особливо важливо в умовах дрібносерійного та штучного виробництва. Проведено аналіз конструкції тонких металевих корпусів дискових відрізних інструментів. Розглянуто можливість підвищення їх</p>

Номер етапу, строки	Назва етапу згідно з техн. завданням	Заплановані результати	Отримані результати
			продуктивності, сталості та зносостійкості шляхом застосування композитних матеріалів, змінюючи напрям армуючих елементів, матеріали матриці і цих складових (волокон, дисперсно-зміцнених частинок, шарів й таке інше), використанням різноманітних ребер жорсткості, показано їх переваги і недоліки

3.2. Докладно розкрити одержані прикладні наукові результати щодо створення нового наукового знання або навести описи технологій, конструкторської, технологічної та програмної документації, дослідних зразків, положень, регламентів, стандартів, проектів нормативно-правових і методичних документів, що були створені, змінені та/або доповнені авторами у процесі виконання дослідження або розробки:

1. Розроблено математичну модель для опису оброблювальної поверхні зубчастих коліс, в основу якої покладено математичні залежності, що дозволяють інтерактивно керувати формою зубців зубчастих коліс шляхом перетворення простору разом з залежною від нього поверхнею зубців та зміни внутрішніх параметрів, що визначають профіль зуба зубчатого колеса. Це створило умови для розробки комп'ютерно-інтегрованої системи формоутворення зубчастих коліс, побудованої на єдиних уніфікованих керуючих параметрах.

2. Розроблено математичну модель та визначено порядок використання її елементів для уніфікації опису вихідного контуру твірної поверхні, що забезпечується апроксимацією його точкового подання у виді сплайну, представленого кривими Безье 3-го порядку, з уніфікованими керуючими параметрами, що дозволило створити систему формоутворення на єдиній параметричній базі не залежно від форми профілю зубчастих коліс.

3. Розроблено математичну модель системи формоутворення зубчастих коліс, в основу якої покладено новий підхід до узагальненого опису функції формоутворення, заснований на матричному представленні, суть якого полягає в тому, що перехід від системи координат оброблюваної поверхні до системи координат інструментальної поверхні здійснюється за допомогою добутку єдиного набору елементарних матриць четвертого порядку, кожна з яких характеризує лише один елементарний поступальний або обертальний рух між сусідніми ланками та визначається одним параметром, який узгоджується з формотвірними чинниками цього руху, а перехід від одного класу кінематичної схеми формоутворення до іншого відбувається обнуленням параметра відповідної матриці, що дозволило в сукупності з математичною моделлю оброблювальної поверхні зубчастих коліс уніфікувати математичний опис та інтерактивно отримувати вихідну інструментальну поверхню.

4. Отримали подальший розвиток теоретичні положення щодо використання кінематичних схем формоутворення 3-го класу стосовно часткових випадків, зокрема кочення з ковзанням гіперболоїда по циліндру і кочення з ковзанням гіперболоїда по твірній прямій, для яких одержано математичні залежності функції формоутворення, що стало основою вдосконалення інструментів типу «однопорожнинний гіперболоїд».

5. Розроблено математичну модель для комплексного аналізу геометричних та кінематичних показників взаємодії спряжених поверхонь, яка базується на математичних залежностях, в основу яких покладені уніфіковані керуючі параметри, що дозволило ще на стадії проектування аналізувати як умови взаємодії оброблюваних та інструментальних поверхонь, що забезпечують їх виготовлення, так і умови контактування спряжених зубців зубчастих коліс і на цій основі розроблено нові методи формоутворення гіперболоїдних зубчастих коліс, метод полірування

магніто-абразивним порошком на універсальному зубофрезерному верстаті за допомогою дискового інструменту зі зміщеним центром, та розроблені основні положення формоутворення арочних зубчастих коліс

6. Розроблено новий метод двопроменевого лазерного формоутворення виробів з листових матеріалів, його технологічне забезпечення, що значно розширює можливості процесу та підвищує його керованість, дозволяє з високою продуктивністю виготовляти вироби складної конфігурації з листів вдвічі-втричі більшої товщини (в тому числі з важкодеформівних матеріалів), ніж при альтернативних способах обробки, дає можливість знизити металоємність конструкцій при підвищенні жорсткості, уникнути використання високовартісного спеціального устаткування, що особливо важливо в умовах дрібносерійного та штучного виробництва.

7. Проведено аналіз конструкції тонких металевих корпусів дискових відрізних інструментів. Розглянуто можливість підвищення їх продуктивності, сталості та зносостійкості шляхом застосування композитних матеріалів, змінюючи напрям армуючих елементів, матеріали матриці і цих складових (волокон, дисперсно-зміцнених частинок, шарів й таке інше), використанням різноманітних ребер жорсткості, показано їх переваги і недоліки

3.3. Визначити, які із результатів і як само були науково обґрунтовані та доведені, як вони пов'язані із закономірностями організації та розвитку природи, суспільства людини, їх взаємозв'язків (і якими саме); які результати розробки було створено виключно на основі узагальнення практичного досвіду і не вимагали науково-технологічних досліджень: Що до розробленої теорії інтерактивних способів керування формоутворенням складної поверхні: шляхом приміщення вихідної поверхні за допомогою функціональних залежностей геометрії поверхні й параметрів простору, ці результати були отримані, як теоретичні дослідження, що здійснювалися на основі наукових положень теорії формоутворення, методів диференціальної геометрії та теорії поверхонь, теорії сплайнів, методів деформаційного конструювання геометричних об'єктів. Для перевірки адекватності математичного забезпечення використані методи поверхневого і твердотільного комп'ютерного моделювання за допомогою сучасного програмного забезпечення провідних компаній розробників з подальшим виготовленням і контролем деталей зі складними робочими поверхнями за еталонними комп'ютерними моделями.

3.4. Довести наукову і науково-прикладну новизну результатів дослідження або розробки на основі їх змістовного порівняння із існуючими аналогами у світовій науці, техніці і технологіях на основі посилань на конкретні публікації. Список цих публікацій навести у Додатку 1 до цього Анотованого звіту. Довести переваги отриманих науково-прикладних результатів над аналогами, суміжними науково-прикладними напрацюваннями світової спільноти вчених, конструкторів, технологів, програмістів: Наукова новизна полягає, що вперше розроблено теорію інтерактивних способів керування формоутворенням складної поверхні: шляхом приміщення вихідної поверхні за допомогою функціональних залежностей геометрії поверхні й параметрів простору, що є важливим при розробці нових процесів формоутворення деталей складної форми. У порівнянні з існуючими аналогами у світовій науці дані питання комплексно не вирішувались існують тільки окремі рішення без взаємозв'язку між ними, це вперше їх було об'єднано в таке комплексне дослідження. Що до теорії формоутворення деформацією листових матеріалів за допомогою лазерного променя то на даний час ця тема не достатньо пророблена і існує мало публікацій з цього питання і їх аналіз дозволяє зробити висновок, що ми своїми дослідженнями знаходимося на рівні а навіть і випереджаємо світових дослідників.

3.5. Обґрунтувати цінність очікуваних результатів для світової та вітчизняної науки, техніки і технологій: Розроблено нові технології фізико – технічної та механічної обробки при формування виробів зі складно профільними фасонними поверхнями та встановлені конструктивні, технологічні та фізико-механічні їх характеристики. Це дасть змогу значно виготовляти вироби з матеріалів, які мають високу пружність або жорсткість, важко деформуються, попередньо-загартовані. Також розробка цих технологій дозволить значно скоротити строки підготовки до виробництва нових виробів та зменшити витрати на їх виготовлення. Також розроблено математичні моделі, методики та алгоритми, інформаційне та програмне забезпечення для інтерактивного управління формоутворенням складних фасонних поверхонь, що полягає в уніфікації керуючих параметрів, визначення контактних точок, оптимізаційного синтезу складних поверхонь, яке буде інтегруватись в сучасні CAD/CAM

системи. Для окремих груп матеріалів та різних видів інструментів будуть сформовані вимоги щодо розробки їх конструкцій та умов експлуатації.

4. ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ ДЛЯ СУПІЛЬСТВА ТА ЕКОНОМІКИ (до 100 рядків)

4.1. Визначити та обґрунтувати використання очікуваних результатів для конкретної галузі, потреб розвитку науково-технологічної сфери, вирішення світових проблем; довести відповідність потребам суспільства та економіки країни. Навести у Додатку 2 до цього Анотованого звіту результати проведених маркетингових досліджень щодо просування науково-прикладних результатів на світовий ринок, визначити потенційних замовників, навести у Додатку 3 до цього Анотованого звіту перелік реальних майбутніх користувачів, з якими вже встановлено попередні договірні стосунки:

Практичне значення одержаних результатів. На основі теоретичних та методологічних положень розроблено комп'ютерно-інтегровану систему забезпечення формування зубчастих коліс, яка включає такі модулі,): «APACE», що реалізує перетворення заданого математичного опису геометрії поверхонь зубців зубчастих коліс до єдиного функціонального виду; «СОРТеR» і «COSET», що реалізують можливості інтерактивної зміни геометрії зубчастих коліс за допомогою перетворень простору і безпосередньо за допомогою керуючих уніфікованих елементів кривих, відповідно; «SCOT», що дозволяє синтезувати контактні точки робочого і верстатного зачеплень та експортувати їх в CAD-системи; «SAIAT», що дозволяє на підставі аналізу геометричних і кінематичних показників в точках контакту спряжених поверхонь в інтерактивному режимі синтезувати інструментальні поверхні і поверхні зубців зубчастих коліс. З використанням комп'ютерно-інтегрованої системи спрофільовані та виготовлені гіперболоїдні інструменти для виготовлення зубчастих коліс з уніфікованим профілем зубців. На прикладі шевронних і гвинтових зубчастих коліс підтверджена можливість розробки еталонних комп'ютерних моделей з поліпшеним профілем зубців, відмінним від евольвентного та аналізу в системі Autodesk PowerMill процесу симуляції керуючих програм з подальшим виготовленням цих коліс на верстаті з ЧПК. Спроектвані та виготовлені із застосуванням адитивних технологій шевронні зубчасті колеса з профілем зубців, отриманим за допомогою розробленого програмного забезпечення з відповідним аналізом.

Також було розроблено програмне забезпечення для користувача, які дозволяють в діалоговому режимі визначати умови лазерного опромінення металевих листів з метою високоточного (до 1' по куту) формування різноманітних виробів, у том у числі циліндричної форми з довільною, або наперед заданою конфігурацією утворюючої, а також визначати умови опромінення, які забезпечують без зміни розмірів та товщини виробу (металоємності) значне підвищення його жорсткості, і, як наслідок, як мінімум двохкратне підвищення продуктивності обробки (швидкості різання).

4.2. Довести цінність результатів для підготовки фахівців у системі освіти, зокрема фахівців вищої кваліфікації. Відокремити використання очікуваних результатів від науково-методичних завдань, що виконуються викладачами у межах їх основної педагогічної діяльності. Навести у Додатку 4 до цього Анотованого звіту теми досліджень магістрантів (студентів), аспірантів і докторантів, кількість місяців їх роботи за темою з оплатою:

Результати роботи впроваджені в навчальний процес кафедри конструювання машин Київського політехнічного інституту ім. Ігоря Сікорського при підготовці фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» за спеціальністю «131 - прикладна механіка», а саме, створені нові розділи для дисципліни «Теорія формування спеціальних поверхонь», розроблено новий розділ «Комп'ютерна інтеграція систем та процесів формування складних поверхонь», для дисципліни «Інструментальне та технологічне забезпечення процесів формування» розроблено новий розділ «Підвищення ефективності процесу формування на основі синтезу теорії поверхонь та теорії формування». Також результати роботи використовувались за теми магістерських дисертацій: 1. Оброблення зубчастих коліс за допомогою магнітно-абразивної обробки методом безперервного обкату Трухан О.О. 2019, кер. Охріменко О.А. 2. Покращення конструкції шестерінчастих насосів за рахунок модифікації зубчастого зачеплення Поліщук В.П. 2019, кер. Охріменко О.А. 3. Фреза збірна черв'ячна з непереточуваними твердосплавними пластинами Склар Р.О. 2018, кер. Охріменко О.А. 4. «Лазерне формування тонколистових деталей складної конфігурації в авіа та суднобудуванні» Кривоногов Є. В. 2018 кер. Головка Л.Ф. 5. «Лазерне формування листових авіаційних матеріалів» Верболюз І.М. 2019 кер. Кагльак О.Д. 6. «Формування авіаційних

5. ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРОБКИ

(зазначати виключно доробок, серед авторів яких 50% і більше належать до колективу виконавців, визначеного у Таблиці 11. Оцінюючи наукові праці на відповідність меті, предмету та завданням дослідження або розробки, експерт має право не зараховувати їх у разі повної невідповідності)

5.1. Перелік опублікованих статей в журналах, що індексуються у наукометричній базі Scopus та/або Web of Science Core Collection (WoS) (або Index Copernicus для суспільних та гуманітарних наук) відповідно до таблиці 2 (окремо за кожною наукометричною базою):

Таблиця 2

№	Повні дані про статті з веб-адресою електронної версії; підкреслити прізвища авторів , зазначених у списку виконавців	Наукометр. база даних
1	Development of the laserfoundry process for manufacture of bymetalls / <u>L. Golovko</u> , <u>S. Salij</u> , M. Bloschchytyn, W. Alnusirat // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, № 4/1 (94) 2018. - p.47 - 54. http://journals.uran.ua/eejet/article/view/139483	Scopus
2	Surface hardening and finishing of metallic products by hybrid laser-ultrasonic treatment / Dzhemelinskyi V., Lesyk D., <u>Goncharuk O.</u> , <u>Danyleiko O.</u> // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol. 1, Issue 12 (91). P. 35-42. doi: 10.15587/1729-4061.2018.124031 (http://journals.uran.ua/eejet/issue/view/7253)	Scopus
3	Lasers in Manufacturing and Materials Processing: Laser sintering of abrasive layers with inclusions of Cubic boron nitride grains / <u>Goncharuk O.</u> , Zhuk R. O., <u>Kaglyak O. D.</u> , Dzhemelinskyi V., Lesyk D., // Lasers in Manufacturing and Materials Processing. 2018. ISSN 2196-7229 DOI 10.1007/s40516-018-0068-0	Scopus
4	<u>Shvets A.Y.</u> , Sirenko V.O. Scenarios of transitions to a hyperchaos in nonideal oscillating systems //Nonlinear Oscillations, 2018, 21 (2), pp. 284-292. https://link.springer.com/article/10.1007/s10958%2D019%2D04543%2Dz	Scopus

5.2. Перелік опублікованих за темою англomовних статей та тез доповідей у матеріалах міжнародних конференцій, що індексуються у наукометричній базі Scopus або WoS (або Index Copernicus для суспільних та гуманітарних наук) відповідно до таблиці 3 (окремо за кожною наукометричною базою):

Таблиця 3

№	Повні дані про статті та тези доповідей з веб-адресою електронної версії; підкреслити прізвища авторів , зазначених у списку виконавців	Наукометр. база даних
1	"Optimization of the Parameters of Local Laser Treatment for the Creation of Reinforcing Ribs in Thin Metal Sheets" // Proceedings of 24th International Conference "MECHANIKA 2019" 2019, pp 71-75.; Url - https://mechanic.ktu.edu	Scopus

5.3. Перелік опублікованих статей у виданнях, що входять до переліку фахових видань України (окремо статті у журналах, що рекомендовані секціями Наукової ради МОН), а також статей у закордонних журналах, які не увійшли до підпунктів 1 і 2 пункту 5, відповідно до таблиці 4:

Таблиця 4

№	Повні дані про статті з веб-адресою електронної версії; <u>підкреслити прізвища авторів</u> , зазначених у до списку виконавців
1	<u>Головко Л. Ф.</u> Енергозберігаючі технології зміцнення робочих поверхонь деталей машин / Л. Ф. Головко, О. В. Радько, А.К. Скуратовський, С.С. Салій //Проблеми тертя та зношування. №4(85). 2019.- С.44-52. http://jrnl.nau.edu.ua/index.php/PTZ/issue/view/724
2	Юрчишин О. Я. Морфологический анализ конструкторско-технологических параметров высокоточных, тяжелонагруженных, крупногабаритных зубчатых реек ответственных реечных передач / Юрчишин О. Я., <u>Охрименко А.А.</u> , Рассохин Д.А., Костик Е.А., Клочко А. А.// Наука і виробництво. №21 2019р – С.142-151 (фахове видання) http://eir.pstu.edu/handle/123456789/24957
3	<u>Охрименко О.А.</u> Збірник наукових праць українського державного університету залізничного транспорту/ О.А. Охрименко, А.В. Мініцький, М.О. Сисоєв, Н.В. Мініцька //. Вип. 176. 2018 - С30-35.; DOI - https://dx.doi.org/10.18664/19947852.176.2018.131255
4	Новіков Н.Ф. Математична модель теплонапруженості процесу імпульсного переривчастого шліфування /Н.Ф. Новіков, О.О. Клочко, О.О. Анциферова, Є.В. Басова, <u>О.А. Охрименко</u> // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні, № 6 (1282) 2018. с127-133.; Url http://vestnik.kpi.kharkov.ua
5	Клочко О.О. Функціональний зв'язок умов обробки з параметрами стану поверхні зубів рейок. /О.О. Клочко, О.Я. Юрчишин, Н.В. Семінська, <u>О.А. Охрименко</u> // Mechanics and Advanced Technologies № 3(87) (2019) – С91-99 DOI: https://doi.org/10.20535/2521%2D1943.2019.87.190548
6	Combined laser-foundry manufacturing process of bimetals / <u>Serhii Salii</u> , <u>Leonid Golovko</u> , Victor Romanenko, Alina Golovko// Mechanics and Advanced Technologies Vol 88, No 1 (2020), с.93-107. http://journal.mmi.kpi.ua/issue/view/12288
7	Laser-assisted Manufacturing of CBN-contained grinding tools/ Olekii Goncharuk, <u>Leonid Golovko</u> , <u>Oleksii Kaglyak</u> //Mechanics and Advanced Technologies Vol 88, No 1 (2020), с.108-123 http://journal.mmi.kpi.ua/article/view/200770/pdf_148
8	Саленко О.Ф. Забезпечення надійності роботи алмазного інструменту. Отриманого лазерним термодформаційним спіканням, при обробці армованих вуглепластиків/., Щетиніна В.Т. <u>Головко Л.Ф.</u> Саленко А.О. //Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського №3, 2019.- с.147-157. DOI: 10.30929/1995-0519.2019.3.147-157
9	<u>Kaglyak. O.</u> Forming of plates and disks samples from austenitic stainless steel, manganese carbon steel and low carbon steel using laser heating ISSN 2521-1943. Mechanics and Advanced Technologies #3 (84), 2018; DOI - https://dx.doi.org/10.20535/2521%2D1943.2018.84.134303 ;
10	Кривошея А.В. Совершенствование математической и логической модели теоретического синтеза зубчатых звеньев плоских систем зубчатых зацеплений / А. В. Кривошея, Ю. М. Данильченко, В. Е. Мельник, <u>Б. С. Воронцов</u> , Н. А. Долгов, Д. Т. Бабичев, Д. А. Баландин, Т. Е. Третьак// Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Машинознавство та САПР, №25 (1301) 2018 – С75-88 http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPIPress/37615/1/vestnik_KhPI_2018_25_Krivosheya_Sovershenstvovanie.pdf
11	<u>Охрименко А.А.</u> Технологические условия повышения степени упрочнения цилиндрических зубчатых колес/ <u>А.А. Охрименко</u> , Е.А. Грущина, Л.В. Пивень, Н.П. Скидан

№	Повні дані про статті з веб-адресою електронної версії; <u>підкреслити прізвища авторів</u>, зазначених у до списку виконавців
	//Вісник Національного технічного університету «ХПІ» Серія: Технології в машинобудуванні, № 2 2020. С 28-31 DOI: 10.20998/2079-004X.2020.2.05

5.4. Перелік опублікованих монографій відповідно до таблиці 5:

Таблиця 5

№	Повні дані про монографії; <u>підкреслити прізвища авторів</u>, зазначених у списку виконавців
1	Красновид Д.О./ Проблеми механічної обробки Частина II /Д.О. Красновид, <u>О.А. Охріменко</u> , В.А. Пасічник, В.І. Солодкий, Д.В. Яковенко - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. - 220 с

5.5. Перелік опублікованих підручників, навчальних посібників, словників, довідників відповідно до таблиці 6:

Таблиця 6

№	Повні дані про підручники, навчальні посібники, словники, довідники; <u>підкреслити прізвища авторів</u>, зазначених у списку виконавців
1	Дипломний проект бакалавра. Організаційні питання (друге видання) [Електронний ресурс] : підручник для студентів, які навчаються за технічними спеціальностями / Ю. Й. Бесарабець, <u>О. А. Охріменко</u> В. А. Пасічник, В. І. Солодкий ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. - Електронні текстові дані (1 файл: 4,26 Мбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. - 236 с. https://ela.kpi.ua/handle/123456789/31542

5.6. Перелік отриманих охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності України або інших країн (патенти, свідоцтва на право автора на твір) відповідно до таблиці 7:

Таблиця 7

№	Повні дані про охоронні документи; <u>підкреслити прізвища авторів</u>, зазначених у списку виконавців
1	<u>Салій С.С., Головка Л. Ф.</u> Патент на спосіб № 128468 Спосіб виготовлення металевих листових композицій .- опубл. 25.09.2018 Бюл. №18
2	<u>Головка Л.Ф.</u> Спосіб виготовлення алюмо-сталевих біметалів при з'єднанні пластин потужним джерелом енергії; Назва охоронного документу - Висновок про видачу деклараційного патенту на корисну модель; № 14737/ЗУ/18 дата 06.06.2018
3	<u>Головка Л.Ф.</u> Спосіб виготовлення гнутих біметалів при з'єднанні його пластин потужним джерелом енергії; Назва охоронного документу - Заявка на корисну модель; № u2018 03319 дата 29.03.2018
4	<u>Головка Л.Ф.</u> Спосіб виготовлення біметалевих виробів кутового типу; Назва охоронного документу - Заявка на корисну модель; № u2018 05394 дата 15.05.2018

5.7. Створено та передано для використання поза межами організації-виконавця методик, технологій, зразків, проектної і конструкторської документації; інформаційно-аналітичні матеріали, рекомендації, пропозиції до органів влади тощо, зокрема на основі укладеного договору на науково-технічну продукцію, що підтверджується довідкою від бухгалтерії закладу вищої освіти (наукової установи) із зазначенням обсягів фінансування виконаних робіт відповідно до таблиці 8:

Таблиця 8

№	Передані методики, рекомендації, пропозиції, інші документи; підкреслити прізвища авторів, зазначених у списку виконавців	З них на основі укладеного договору на науково-технічну продукцію	Обсяг фінансування за договором, тис. гривень
1	<u>Охріменко О.А.</u> ТОВ «НВП ТЕМП 3000», контроль геометричних параметрів захисних шоломів	договір 03/18 від 01.12.2018	9,0
2	<u>Охріменко О.А.</u> ТОВ «КМ Дісті», конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення муляжів голови	договір 02/18 від 31.08.2018	20,4
3	<u>Охріменко О.А.</u> ТОВ «КМ Дісті», оптимізація та удосконалення виготовлення технологічної оснастки муляжів голови	договір 01/19 від 01.02.2019	28,0
4	<u>Охріменко О.А.</u> АТ Механіка, випробування програмних продуктів «SCOT», «SALAT» при проектуванні редукторної пари зачеплення $m=6$, $Z1=23$, $Z2=68$ Акт випробування програмного забезпечення	акт впровадження	

5.8. Перелік захищених дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора наук та кандидата наук відповідно до таблиці 9:

Таблиця 9

№	Інформація про дисертацію
1	Воронцов Б.С. Комп'ютерно-інтегрована система забезпечення формоутворення зубчастих коліс. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.03.01 - процеси механічної обробки, верстати та інструменти. - Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Міністерства освіти і науки України, Київ, 2018.

5.9. Кількість грантів, за якими працювали виконавці дослідження або розробки, що фінансувались закордонними організаціями (з відповідним підтвердженням від закладу вищої освіти (наукової установи), посиланням на сайт грантового проекту або офіційним листом від грантодавця) відповідно до таблиці 10:

Таблиця 10

№	ПІБ виконавців	Назва дослідження за грантом	Фінансування, тис. гривень
1	<u>Охріменко О.А.</u> , Вовк В.В., Красновид Д.О., Пасічник В.А.	Проект за програмою ЄС «Eurasia», № СРЕА-LT-2017/10047 «NTNU-KPI Collaboration within Industry 4.0 Education».	Через Covid 2019 у 2020 році проект виконувався тільки в режимі

№	ПІБ виконавців	Назва дослідження за грантом	Фінансування, тис. гривень
			онлайн, такі активності, як стажування та включене навчання не фінансувались
2	Охріменко О.А., Вовк В.В., Пасічник В.А.	Проект DAAD "BE-ING: Beginn der erfolgreichen internationalen nachhaltiger gemeinsamen Ausbil" Projekt-ID 57537752 Освітній проект	€17 156 Через Covid у 2020 році фінансування не було

6. ВИКОНАВЦІ ДОСЛІДЖЕННЯ АБО РОЗРОБКИ (з оплатою в межах дослідження)

- доктори наук: 4, кандидати наук: 3;
 - молоді вчені: 2, з них кандидатів: 0, докторів: 0, докторантів: 0;
 - аспірантів: 2
 - наукові працівники без ступеня: 2;
 - інженерно-технічні кадри: 0, допоміжний персонал: 0; студенти: 5.
- Р а з о м : 16.

Таблиця 11

Виконавці дослідження або розробки (з оплатою в межах дослідження або розробки)

№	Прізвище, ім'я, по батькові	Науковий ступінь	Вчене звання	Посада і місце основної роботи	Вік
1	Кагляк Олексій Дмитрович	канд. техн. наук	доц.	доцент кафедри ЛТФТТ. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»	20
2	Воронцов Борис Сергійович	д-р техн. наук	доц.	професор каф ТМ. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»	50
3	Головко Леонід Федорович	д-р техн. наук	проф.	професор кафедри ЛТФТТ. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»	70
4	Родін Родіон Петрович	канд. техн. наук	старш. дослідник (старш. наук. співроб.)	ст. науковий співробітник каф КМ. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»	60
5	Швець Олександр Юрійович	д-р фіз.-мат. наук	проф.	професор каф МФ. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»	70
6	Гончарук Олексій Олександрович	канд. техн. наук	доц.	науковий співробітник каф ІТМ, ММІ. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»	37

Керівник дослідження або розробки

Охріменко О. А.

Проректор із наукової роботи (Керівник наукової установи)

МП

(ініціали, прізвище)

Додаток 1. Список основних публікацій закордонних та вітчизняних вчених, на які посилаються автори для доведення наукової новизни власних результатів

№	Повні дані про статті
1	Kügler, H; Vollertsen, F Determining Absorption Variations of Multiple Laser Beam Treatments of Stainless Steel Sheets Journal of Manufacturing and Materials Processing 2, 84 (2018) doi: 10.3390/jmmp2040084
2	Volpp, J; Vollertsen, F Impact of multi-focus beam shaping on the process stability Optics and Lasers Technology 112 (2019) 278-283 (online)
3	Herman Fidler, Joris P. J. Admiraal , Václav Ocelík Digital Image Correlation Observations of Laser Forming Metals 2020, 10, 17; doi:10.3390/met10010017
4	A. N. Thomsen, M. Kristiansen, E. Kristiansen, B. Endelt Online measurement of the surface during laser forming The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2020) 107:1569-1579 https://doi.org/10.1007/s00170%2D020%2D04950%2D6

Додаток 2. Список потенційних замовників: ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО "ХАРКІВСЬКИЙ МАШИНОБУДІВНИЙ ЗАВОД "ФЕД" Україна, 61023, Харківська обл., місто Харків, ВУЛИЦЯ СУМСЬКА, будинок 132 ТОВ "СПЕЦЕНЕРГОМОНТАЖ ЛТД" 02218, м.Київ, Дніпровський район, ВУЛИЦЯ РАЙДУЖНА, будинок 13, офіс 201 ТОВ "НІКО АВТО ІНВЕСТ" 01004, м.Київ, Печерський район, ВУЛИЦЯ ВЕЛИКА ВАСИЛЬКІВСЬКА, будинок 5

Додаток 3. Список реальних замовників: АТ Механіка, 03860, м. Київ, вул. Виборська 92

Додаток 4. Дані про магістрантів (студентів), аспірантів і докторантів, які працювали за темою з оплатою праці

№ з/п	ПІБ	Статус	Назва досліджень	Кількість місяців роботи з оплатою
1	Воронцов Б.С.	докторант	Комп'ютерно-інтегрована система забезпечення формоутворення зубчастих коліс.	4
2	Данилейко О.О.	аспірант	Проведено теоретичне та експериментальне дослідження можливостей використання лазерної термічної обробки (ЛГТ) у поєднанні з ультразвуковою ударною обробкою (УІТ) для поверхневого зміцнення та обробки металевих виробів.	6

№ з/п	ПІБ	Статус	Назва досліджень	Кількість місяців роботи з оплатою
3	Савченко О.А .	студент.	Аналіз факторів та параметрів процесу лазерного деформування.. Моделювання теплових процесів при лазерному формоутворенні виробів з листового матеріалу. Закономірності процесу лазерного нагрівання листових матеріалів.	7
4	Салій С.С.	аспірант.	Брав участь у розробці нового високоефективного методу виробництва біметалевих листів. Згідно з тонким поверхневим шаром функціональний компонент біметалу, що рухається з певною швидкістю на певній ділянці, плавиться концентрованим лазерним випромінюванням.	7
5	Климова А.Г	студент	Аналіз і проведення дослідів з поведінки сформованих конструкції в умовах робочих теплових навантажень при лазерному формоутворенні.	12
6	Донецький С.В.	студент	Теоретичні розрахунки до розділу Формоутворення зубчастих коліс дисковим інструментом, аналіз та розв'язок рівняння контакту при формоутворенні дисковим інструментом зі зміщеним центром зуба колеса.	6
7	Станев А.І.	студент	проведення дослідів в лабораторії з обробки зубч. коліс (розділ 6.)	6
8	Маленівський М.С.	студент	Проведення порівняльно аналізу мікротвердості поверхневого шару та шорсткості поверхні зразків, оброблених LHT, UIT, комбінованої та гібридної лазерно-ультразвукової обробки	6

Додаток 5. Анотації українською мовою статей у журналах, що входять у наукометричні бази Scopus та/або Web of Science Core Collection (WoS) (або Index Copernicus для суспільних та гуманітарних наук) і представляють результати дослідження або розробки

№ статті у Таблиці 2	Анотації
1	Запропоновано новий високоефективний метод виробництва біметалевих листів. Згідно з тонким поверхневим шаром функціональний компонент біметалу, що рухається з певною швидкістю на певній ділянці, плавиться концентрованим лазерним випромінюванням. Одночасно заздалегідь підготовлені розчини біметалевої основи подаються в зону його дії зі спеціального дозуючого пристрою із заданою швидкістю потоку, що забезпечує надійне з'єднання між ними при охолодженні. Спосіб характеризується високою продуктивністю та універсальністю процесу виготовлення широкого асортименту біметалів різного призначення, великою міцністю зчеплення їх компонентів, можливістю повної

№ статті у Таблиці 2	Анотації
	<p>автоматизації. Проаналізовано теплові процеси, що відбуваються в поверхневому шарі функціонального складу біметалу з нержавіючої сталі 40Н13 (AISI 420) при різних умовах лазерного випромінювання. Визначено параметри лазерного опромінення, що забезпечують переплавлення поверхневого шару шириною 50 мм на глибину 50–100 мкм (потужність випромінювання 8,5 кВт, швидкість руху 1 м / хв). Умови подачі розплавленого металу основи конструкційної вуглецевої сталі St.3 (AISI A284Gr.D) (висота колони розплаву 7,6 мм, розмір виходу 50 × 3 мм) на сплавлений функціональний шар, обґрунтовані, що забезпечують утворення біметалу із зазначеними розмірними характеристиками.</p>
2	<p>Проведено теоретичне та експериментальне дослідження можливостей використання лазерної термічної обробки (ЛГТ) у поєднанні з ультразвуковою ударною обробкою (УІТ) для поверхневого зміцнення та обробки металевих виробів. Діапазон температур аустенізації (1050 ... 1350 ° С) при різних швидкостях (50 ... 150 мм / хв) ЛНТ без поверхневого плавлення скануючим лазерним променем, а також початок (~ 360 ° С) і кінець (~ 245 ° С) були визначені температури мартенситного перетворення під час охолодження зразка. Як результат, це дозволяє звужити діапазон оптимальних режимів ЛНТ, забезпечуючи поверхневу твердість 800 ... 1000 НV і глибину твердіння 200 ... 400 мкм поверхневого шару. Експериментальні дослідження підтвердили, що визначена величина температури на поверхні зразка сталі AISI 1045 добре корелює з температурою нагрівання, виміряною лазерним пірометром. Як наслідок, це забезпечує можливість визначити відстань застосування ультразвукового інструменту під час охолодження в лазерному поверхневому зміцненні металевих поверхонь. Проведено порівняльний аналіз мікротвердості поверхневого шару та шорсткості поверхні зразків, оброблених ЛНТ, УІТ, комбінованої та гібридної лазерно-ультразвукової обробки. Було встановлено, що гібридна лазерно-ультразвукова обробка дозволила збільшити мікротвердість поверхневих шарів більш ніж у 3 рази та зменшити параметр шорсткості Ra приблизно у 3 рази порівняно з початковим станом, забезпечуючи сприятливі умови для уловлювання олії на поверхні продукту. Таким чином, є підстави стверджувати про можливість використання гібридного ЛНТ + УІТ для поверхневого зміцнення та обробки великогабаритних виробів, що працюють в екстремальних умовах</p>
3	<p>Однією з основних технологій виробництва промислових інструментів є високошвидкісна техніка місцевого обігріву, яка різко збільшує продуктивність виробництва інструментів. З подальшою оптимізацією процесів спікання можна виробляти промислові інструменти для обробки з високою щільністю та відносно невеликим розміром зерен. Застосування сфокусованого лазерного променя як джерела нагрівання також суттєво сприяє збільшенню продуктивності виробництва інструментів та розширює спектр склеювальних матеріалів, які можна використовувати для утворення кубічного нітриду бору (CBN), що містить абразивні шари. Дослідження в основному зосереджені на опроміненні зерен CBN лазерами двох різних довжин хвиль - $\lambda = 1,06$ мкм і $\lambda = 10,6$ мкм. Технологічні параметри лазерної обробки були такими: Потужність лазера P - 200 - 700 Вт, діаметр фокусної плями d - 3 мм, швидкість обробки V - 0,01 - 2,0 м / хв. Щільність зерен CBN вимірювали до та після опромінення лазером за допомогою вимірювального приладу DA-2 згідно із стандартною процедурою. В якості сполучного матеріалу використовували порошки бронзи та нікелю (BrO10 та PS-12 N-WC). Їх змішували із зернами CBN і наносили на сталеві основи з подальшим лазерним опроміненням фасованого шару. Скануюча електронна мікроскопія (SEM) була використана для дослідження мікроструктури зразків разом з локальним та інтегральним аналізом рентгенівських елементів. Також вимірювали мікротвердість опромінених зразків. Детально вивчено взаємодію лазерного</p>

№ статті у Таблиці 2	Анотації
	променя та зерен СВН та встановлено взаємозв'язок між ключовими технологічними параметрами та якістю композитів (міцність зерен, зносостійкість та міцність зчеплення).
4	Розглянуто клас неідеальних коливальних (за Зоммерфельдом та Кононенком) динамічних систем та встановимо існування двох типів гіперхаотичних аттракторів у цих системах. Описано сценарії переходів від звичайних аттракторів до хаотичних та сценарії переходів між хаотичними аттракторами різних типів та їх застосування при аналізі кривизни поверхонь.

Додаток 6. Анотації українською мовою до монографій, які представляють результати дослідження або розробки, і наведені у Таблиці 5

№ моногр. у Таблиці 5	Анотації
1	Розглянуто проблеми механічної обробки під час застосування окремих типів інструментів та результати їх вирішення. Запропоновано конкретні ре-комендації для впровадження у промисловість отриманих результатів. Для усунення проблем оброблення зубчастих коліс приведені висновки теоретичного аналізу процесів формоутворення з результатами промислового випробування. Розглянуто проблеми та їх усунення при утворенні різьбових з'єднань у титанових матеріалах за допомогою мітчиків. Наведено теоретичні основи проектування торцевих фасонних фрез з конічною передньою поверхні різального елемента.

Додаток 7. Анотації захищених виконавцями дослідження або розробки дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора наук та кандидата наук, що наведені у Таблиці 9

№	Назви дисертацій та їх анотації
1	Воронцов Б.С. Комп'ютерно-інтегрована система забезпечення формоутворення зубчастих коліс. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Міністерства освіти і науки України, Київ, 2018. В дисертаційній роботі визначена, науково обґрунтована і вирішена актуальна науково-технічна проблема – забезпечення якості, в першу чергу, кінематичної точності та плавності роботи зубчастих коліс, а також, скорочення термінів технологічного підготовки їх виробництва шляхом створення комп'ютерно-інтегрованої системи, в основу якої покладено уніфіковані керуючі параметри, що забезпечують формоутворення зубчастих коліс, які мають різну форму профілю зуба, з можливістю автоматизованого проектування, інтерактивного керування та візуалізації результатів. Розроблено математичну модель системи формоутворення зубчастих коліс, яка базується на узагальненому представленні функції формоутворення.

Додаток 8. Короткий зміст (анотації) досліджень за грантами, що наведені у Таблиці 10

№	Назви досліджень за грантом та їх анотації
1	Проект за програмою ЄС «Eurasia», № СРЕА-LT-2017/10047 «NTNU-KPI Collaboration within Industry 4.0 Education». Через Covid 2019 у 2020 році проект виконувався тільки в режимі онлайн, зокрема проведено літню школу Ukrainian-Norwegian Summer School “SUSTAINABLE MANUFACTURING IN INDUSTRY 4.0: TECHNOLOGIES AND SOLUTIONS”. «NTNU –KPI Collaboration within Industry 4.0 Education» Наказ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» 3/42

№	Назви досліджень за грантом та їх анотації
	02.26.2020, Наказ №3/563 від 06.11.2018 , Освітній проект головними активностями у проекті є стажування викладачів та студентів і включене навчання студентів в університетах партнерах
2	Проект DAAD “BE-ING: Beginn der erfolgreichen internationalen nachhaltiger gemeinsamen Ausbil” Projekt-ID 57537752 Освітній проект Освітній проекту головними активностями у проекті є стажування викладачів та студентів і включене навчання студентів в університетах партнерах

**Керівник дослідження або
розробки**

МП

Охріменко О. А.
(ініціали, прізвище)