

ВІДГУК

офіційного опонента д.т.н., проф. Роп'яка Любомира Ярославовича
на дисертаційну роботу Проданчука Олега Олександровича
«Підвищення ефективності технологічного процесу механічного оброблення
деталей з хромо-нікелевих сплавів на основі імітаційного моделювання процесу
формоутворення», представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 131 – Прикладна механіка

Актуальність теми.

Обробка важкооброблюваних матеріалів, до яких належать хромо-нікелеві сплави, становить значну проблему через їх високу міцність, низьку теплопровідність, схильність до деформації під час обробки та складнопрогнозований напружено-деформований стан в зоні різання. Ці матеріали широко використовуються в таких важливих галузях, як аерокосмічна, авіаційна, біомедична енергетична, тощо, де найважливішими є експлуатаційні характеристики та надійність деталей. Таким чином, точне прогнозування та контроль стану напружень і деформацій в заготовках під час механічного оброблення є актуальним як для наукового розвитку, так і для практичного застосування.

Формалізація напружено-деформаційної поведінки матеріалу в умовах механічного оброблення є необхідною умовою для підвищення точності розмірів, прогнозування експлуатаційних властивостей виробів та якості навантажених поверхонь деталей. Це обумовлюється тим, що силові та теплові навантаження, що виникають під час різання, спричиняють складні пластичні деформації та залишкові напруження, які, в свою чергу, впливають на втомну міцність, корозійну стійкість та виникнення дефектів, таких як тріщини або втрата несучої здатності тощо. У контексті високоточного та дорогавартісного виробництва ці ефекти можуть суттєво вплинути на надійність та термін експлуатації виробів. Крім того, механічна обробка важкооброблюваних матеріалів часто супроводжується надмірним зношуванням різального інструменту, високими силами різання та підвищеними температурами, що призводить до збільшення виробничих витрат та зниження ефективності процесу виготовлення таких

виробів. Дослідження напружено-деформаційного стану дозволяє розробити оптимізовані стратегії обробки, включаючи вибір параметрів різання, матеріалів інструменту та методів охолодження/змащення, що підвищують термін служби інструменту та мінімізують термічні та механічні пошкодження заготовки.

Сучасні досягнення в області комп'ютерного моделювання, зокрема скінченно-елементного аналізу (СЕА), ще більш точно одержувати дані про поведінку матеріалів в умовах різання. Такі моделі в значній мірі базуються на експериментальних і теоретичних дослідженнях характеристик напружено-деформаційного стану оброблюваного матеріалу під час формоутворення з високою швидкістю деформації, що є типовим для механічної обробки. Ці знання сприяють розробці прогнозних інструментів для віртуальної обробки, моделювання процесів і технологій цифрових двійників у контексті Індустрії 4.0 та інтелектуального виробництва.

З огляду на вищенаведені міркування, дисертаційна робота Олега Проданчука має на меті вирішити актуальну науково-прикладну задачу – дослідити напружено-деформаційний стан заготовок з важкооброблюваних матеріалів (хромо-нікелевих сплавів) під час механічної обробки, зосередивши увагу на оптимізації параметрів процесу різання для забезпечення найважливіших експлуатаційних властивостей виробів.

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

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі Проданчука О.О. є достатньо високою й базується на аналізі науково-технічних джерел за даною проблемою, чіткій постановці мети і задач дослідження, використанні сучасних методів дослідження, критичному аналізі отриманих результатів і якісному формулюванні отриманих висновків.

Теоретичні дослідження виконано з використанням сучасного математичного апарату для опису фізичних явищ, які супроводжують процес

різання заготовок з хромо-нікелевого сплаву. Отримані результати перевірені шляхом проведення низки експериментальних досліджень та впровадженням результатів дослідження у виробництво на підприємстві ТОВ «СТАНКОПЛАСТ», м. Хмельницький. У сукупності це підтверджує обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі на основі одержаних результатів дослідження.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність результатів дисертаційного дослідження забезпечується коректністю постановок математичних задач, застосуванням сучасних методик дослідження задач технології машинобудування, теорії різання, механіки деформованого твердого тіла, методу скінченних елементів та чисельних методів імітаційного моделювання в системах Deform 2D та AdvantEdge, а також доведеною в дисертаційній роботі адекватністю аналітичних моделей фізичній суті описуваних процесів.

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:

- автор вперше дослідив ефективність та переваги застосування жорстко-пластичної або пружно-пластичної імітаційної моделі різання різнорідних матеріалів. Такі дослідження дозволяють більш ефективно застосовувати існуючі системи імітаційного моделювання, оптимізувати час розрахунку та підвищити достовірність отриманих результатів;

- теоретично доведено і експериментально підтверджено ефективність застосування розробленої методології прогнозування напружено-деформованого та термодинамічного стану заготовки як в зоні різання, так і на обробленій поверхні деталі із застосуванням оригінальної методики імітаційного моделювання;

- одержали подальший розвиток деякі положення теорії різання важкооброблюваних матеріалів щодо впливу режимів різання на протікання

силових і термодформаційних процесів, формування залишкових напружень та їх вплив на експлуатаційні властивості деталей з хромо-нікелевих сплавів;

- вдосконалено методику експериментальних досліджень силових параметрів процесу різання деталей з важкооброблюваних матеріалів на верстаті з ЧПК.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Прогрес у сучасному машинобудівному виробництві все більше залежить від точних методів прогнозування, які дозволяють краще розуміти процеси, оптимізувати операції та прискорити інновації. У процесах різання металів, що характеризуються складними термомеханічними взаємодіями, високими швидкостями деформації та швидкозмінними умовами контакту, моделювання стало незамінним як для наукових досліджень, так і для промислового застосування. Ці моделі дозволяють одержувати детальну інформацію про механіку різання, створюючи віртуальне середовище, в якому можна системно досліджувати вплив параметрів процесу різання, геометрії інструменту та поведінки матеріалу.

З точки зору наукових досліджень, запропонована в дисертації методика моделювання різання металів дозволяє вивчати утворення стружки, еволюцію напружень і деформацій, розподіл температури та взаємодію інструменту з заготовкою з рівнем деталізації, який часто недосяжний за допомогою експериментальних спостережень. Комп'ютерне моделювання дозволяє розробляти моделі поведінки матеріалів в екстремальних умовах і полегшує перевірку теоретичних моделей. Крім того, моделювання зменшує експериментальне навантаження, що дозволяє швидко досліджувати технологічно-конструктивні рішення і глибше аналізувати причинно-наслідкові зв'язки в динаміці обробки деталей з хромо-нікелевих сплавів.

З практичної точки зору, моделювання безпосередньо сприяє підвищенню ефективності виробництва, передбачаючи ключові параметри процесу різання,

такі як сили різання, зношування інструменту, залишкові напруження та якість поверхні. Ці можливості допомагають інженерам вибрати оптимальні режими різання, проектувати вдосконалені конструкції інструментів та мінімізувати дорогі ітерації методом проб і помилок на виробництві. У міру впровадження у машинобудівне виробництво досягнень цифрового виробництва та концепції Індустрії 4.0, моделювання процесів різання також стає основою для цифрових двійників, адаптивних систем управління та інтелектуальних систем прийняття рішень.

Таким чином, можна стверджувати, що наукові напрацювання, одержані в дисертаційній роботі О. Проданчука, демонструють цілеспрямоване вивчення ролі імітаційного моделювання процесу різання металів у виробничій науці, підкреслюючи їх подвійну цінність як засобів для механічного розуміння, так і засобів оптимізації технологічних процесів. Інтеграція цих моделей у наукові дослідження та промислову практику є ключовим кроком на шляху до розроблення більш ефективних, стійких та інтелектуальних систем механічної обробки.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Основні положення та результати дисертаційної роботи достатньо повною мірою опубліковані в 20 наукових працях, у тому числі п'яти публікаціях у наукових фахових виданнях України та 2-х публікаціях у наукометричних базах Scopus/Web of Science. У цілому, науковий рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації на конференціях повністю відповідають вимогам МОН України.

Оцінка змісту дисертаційної роботи:

Дисертаційна робота Проданчука О. О. складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету і задачі досліджень, відображено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, відомості про апробацію, публікації, структуру і обсяг дисертації.

В першому розділі виконано аналіз літературних джерел за станом питання оброблюваності деталей з хромо-нікелевих сплавів. Акцент зроблено на особливостях структури та параметрів технологічних процесів механічного оброблення деталей з хромо-нікелевих сплавів. Також зроблений проблемно-орієнтований аналіз механічних властивостей важкооброблюваних матеріалів.

У другому розділі розроблені методики імітаційних та аналітичних досліджень функціонально-орієнтованого технологічного процесу оброблення важкооброблюваних матеріалів на основі хрому та нікелю, а саме: методика імітаційних досліджень жорстко-пластичної та пружно-пластичної моделі різання матеріалів, наведені особливості формалізації пружної та пружно-пластичної моделі різання в програмі DEFORM, та подані інтерпретації результатів імітаційних досліджень пружно- та жорстко-пластичної моделі різання важкооброблюваних матеріалів

Третій розділ присвячено теоретичним дослідженням формування залишкових напружень та деформацій під час механічної обробки заготовок з хромо-нікелевих сплавів. З цією метою дисертантом проведено реологічне моделювання напружено-деформованого та термодинамічного стану заготовки в системі ADVANTEDGE. Дисертантом досліджено: силові параметри лезового механічного оброблення заготовок із хромо-нікелевого сплаву INCONEL 718 зі зміною глибини різання в діапазоні від 0,3 до 2,5 мм; рівень поверхневих залишкових напружень, сформованих під час лезового механічного оброблення заготовок із хромо-нікелевого сплаву INCONEL 718 зі зміною глибини різання в діапазоні від 0,3 до 2,5 мм; рівень поверхневих залишкових напружень, утворених під час лезового механічного оброблення заготовок хромо-нікелевого сплаву зі зміною швидкості різання в діапазоні від 50 до 300 м/хв.

В четвертому розділі наведені результати дослідження впливу геометричних параметрів різального інструменту на величину силових та

термодеформаційних показників процесу механічного оброблення хромо-нікелевих сплавів, а також результати дослідження впливу радіуса заокруглення різального леза інструмента на напружено-деформаційні параметри процесу різання заготовки з хромо-нікелевого сплаву.

У п'ятому розділі дисертаційної роботи наведені результати експериментальних досліджень механічного оброблення виробів з хромо-нікелевих сплавів, а також співставлення їх з наведеними у попередніх розділах результатами

теоретичних та імітаційних моделювань.

Висновки до розділів та за результатами дисертаційної роботи сформульовані достатньо чітко і виразно та відображають основні результати дисертаційного дослідження.

Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладу наукових положень та результатів в опублікованих працях

Дисертаційна робота має логічну структуру. Основні висновки і рекомендації логічно витікають із результатів, які наведено у розділах роботи.

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях здобувача, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено.

Усі результати, які винесено автором на захист, отримані самостійно та містяться в опублікованих роботах. У роботах, опублікованих у співавторстві, використані тільки ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих наукових пошуків. Вимоги щодо кількості та якості публікацій повністю виконано.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи:

1. У Розділі 2 автором декларується результати імітаційних досліджень

пружно- та жорстко-пластичної моделі різання саме важкооброблюваних матеріалів. Проте, крім хромо-нікелевого сплаву, дисертант досліджує також оброблення заготовок з конструкційної сталі та алюмінієвого сплаву. Не зрозуміло, як ці дослідження розкривають мету дисертаційної роботи?

2. Автором не пояснено, як сформовані під час різання залишкові напруження впливають на експлуатаційні властивості виробів з хромо-нікелевих сплавів.

3. Дисертант вживає усталені вирази «хромо-нікелеві сплави», «хромо-нікелеві сталі». Доцільно було б зосередити увагу на одній назві цих об'єктів дослідження.

4. Формулювання наукової новизни слід було б сформулювати більш лаконічно, без зайвих узагальнень.

5. В експериментальній частині дисертації автор обмежується лише дослідженнями силових чинників процесу різання хромо-нікелевого сплаву. Доцільно було б додати результати дослідження температури різання і співставити це з теоретичними даними, отриманими під час імітаційного моделювання. Також цікавими були б результати експериментальних досліджень залишкових напружень.

6. Виявлено незначні наявні орфографічні помилки та недоречності у використанні розділових знаків.

Однак зазначені зауваження не є принциповими, істотно не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної дисертаційної роботи та не знижують її наукової та практичної цінності.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Проданчука Олега Олександровича «Підвищення ефективності технологічного процесу механічного оброблення деталей з хромо-нікелевих сплавів на основі імітаційного моделювання процесу формоутворення» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 131 – Прикладна механіка. Дисертація є завершеною науково-дослідною працею, яка розв'язує актуальну

науково-практичну задачу підвищення ефективності функціонально-орієнтованого технологічного процесу механічного оброблення деталей з важкооброблюваних матеріалів. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.п. 6–9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Проданчук Олег Олександрович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 131 – «Прикладна механіка».

Офіційний опонент – доктор технічних наук,
професор, професор кафедри
комп'ютеризованого машинобудування
Івано-Франківського національного
технічного університету нафти і газу  Любомир РОП'ЯК

23 липня 2025 р.

Особистий підпис: Л.Я. Роп'яка посвідчую:

Учений секретар ІФНТУНГ

Володимир ХОМИН

