

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Заставського Костянтина Олеговича

на тему

Формування інструментального середовища при магнітно абразивному
обробленні в великих магнітних зазорах

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії

в галузі знань 13 – Механічна інженерія
за спеціальністю 131 – Прикладна механіка.

Актуальність теми дисертації.

Підвищення якості та надійності сучасного інструменту є одним із головних засобів ефективного функціонування виробництва. Зазвичай формування різальних крайок інструменту відбувається на макрорівні відомими методами формоутворення, у той час як питанням забезпечення властивостей поверхневого шару на фінішних етапах обробки, в тому числі, мікрогеометричним, увага приділяється значно менша.

Серед методів формування властивостей поверхневих шарів магніто-абразивна обробка (МАО) займає одне з провідних місць, оскільки дозволяє неущільненим абразивом, утримуваним у певних конгломератах магнітними полями, змінювати мікрогеометрію поверхневого шару, зменшувати залишкові напруження, позитивно впливати на елементи різальних крайок.

Оскільки процес МАО є складним та багатограним, нині залишаються невивченими питання, пов'язані з умовами формування самого магніто-абразивного інструменту (МАІ), впливу магнітних властивостей оброблюваної деталі на явища, що відбуваються при обробці, дії умов контакту рухомої та магнітозв'язаної частинки абразиву на інтенсивність мікрорізання, а також на інші контрольовані чинники стану поверхні.

Оскільки визначення реальних процесів та явищ, що зумовлюють формування МАІ прямо залежать від величини сил, що виникають при взаємодії між оброблюваною деталлю та МАІ, визначення реальних сил (тангенційних та нормальних) в процесі МАО постає нагальною та актуальною науково-практичною задачею. Силова схема взаємодії між МАІ та поверхнею деталі визначатиме як технологічний результат обробки, так і його енергетичні параметри. Розв'язанню цієї задачі і присвячена дисертація здобувача. Дану задачу автор трансформував у розробку методики визначення сил, що діють на деталь з боку МАІ та які дозволяють встановити особливості формування МАІ в процесі магнітно-абразивного оброблення.

Це дозволило автору сформулювати мету дисертаційного дослідження: формування інструментального середовища при магнітно-абразивному обробленні у великих магнітних зазорах кільцевого типу, та дослідження явищ, які супроводжують процес оброблення з урахуванням впливу технологічних умов процесу, реологічних характеристик МАІ, розмірів, форми та матеріалу оброблюваних деталей.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1) Вперше визначено реальні сили, що діють в результаті взаємодії МАІ з оброблюваними деталями при МАО деталей різних форм, виготовлених з феро- та парамагнітних матеріалів з урахуванням зміни технологічних факторів, таких як індукція магнітного поля, швидкість рухів при обробленні, типу, форми та розміру частинок МАІ.

2) Вперше досліджено вплив реологічних властивостей МАІ в умовах великого магнітного зазору на процеси силової взаємодії, що відбуваються між МАІ і реальною деталлю при МАО з урахуванням характеристик оброблюваної деталі та магнітно-абразивних порошків.

3) Експериментально підтверджено теоретичні припущення, щодо впливу характеристик МАІ та технологічних факторів на силову взаємодію деталі та МАІ при МАО у великих магнітних зазорах. Визначено зв'язок силової взаємодії між оброблюваною деталлю та МАІ та процесами видалення матеріалу при МАО.

4) Запропоновано уточнення механізму формування МАІ і особливостей його взаємодії з поверхнями деталей складної форми виготовлених з матеріалів з різними магнітними властивостями в умовах великих магнітних зазорів кільцевого типу.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі конструювання машин КПП ім. Ігоря Сікорського в рамках НДР під керівництвом д. т. н. проф. Майбороди Віктора Станіславовича.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Заставського К. О. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 131 – Прикладна механіката напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Прикладна механіка»

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям "Дослідження властивостей магнітно абразивного інструменту при обробці в умовах

кільцевої ванни" за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Заставського К. О. є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Робота Заставського К. О. відповідає принципам академічної доброчесності.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота Заставського К. О. написана українською мовою в науковому стилі. Дисертація чітко структурована, відзначається цілісністю та логічністю викладу матеріалу.

Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 138 сторінок. У вступі зазначено актуальність роботи, її наукова новизна, мета та задачі що ставилися у дослідженні.

Для досягнення поставленої мети автором сформульовано 6 задач досліджень, які він послідовно висвітлює у своїй роботі.

Так, у *першому розділі* автор проводить детальний аналіз процесу МАО, визначає умови, що необхідні для забезпечення його ефективності. Звернувши увагу на градієнт магнітної індукції у робочому зазорі, автор зосередився на вивчанні досліджень пондеромоторних сил, які виникають у зазорах в процесі оброблення та можуть впливати на силові характеристики МАО. Особливу увагу автор звертає на кінематику процесу, види взаємодій абразивного конгломерату із оброблюваною заготовкою. Як додаткові розглядаються фактори у виглядів інтенсифікуючих рухів або добавок, наявність яких не є обов'язковими для процесу МАО, проте можуть суттєво змінювати характер оброблення.

В подальшому автор зробив висновки МАО характеризується основними складовими: нормальною та тангенціальною складовими взаємодії деталі та МАІ, а також процесами формування стабільного МАІ та його рівномірними рухами, при цьому в основі МАО лежать процеси та явища різної природи, які необхідно враховувати при дослідженні характеру формування МАІ.

У *другому розділі* автором наводиться методика проведення досліджень особливостей формування магнітно-абразивного інструменту при мао у великих робочих зазорах. Автор описує використовуване обладнання для досліджень, а також зразки (типові деталі), на яких виконували відповідні експерименти.

Для визначення *тангенціальних* сил, що діють на деталь зі сторони МАІ при МАО був використаний опосередкований метод. Суть методу полягає у визначенні ефективного моменту опору двигуна мінішпинделя, що обертає деталь навколо власної осі. Для цього під час процесу МАО

вимірювались напруга, сила струму на двигуні мінішпинделя та швидкість обертання деталі.

Визначення *нормальних сил*, тобто сил опору руху деталі зі сторони МАІ при МАО велося безпосереднім методом за допомогою пристосування з тензодатчиком. МАІ створює тиск на деталь, перешкоджаючи її руху в робочій зоні в робочій зоні під час МАО, а тензодатчик сприймає це навантаження, оскільки його деформація змінює електричний сигнал.

Вимірювання локальних значень магнітного поля в пустому робочому зазорі (відсутність МАП) здійснювалося на основі відомого методу шляхом застосування мілітеслометра з датчиком на основі ефекту Холла.

Усі наведені методики достатньо обґрунтовані і не викликають питань та зауважень.

Дослідженню тангенціальної та нормальної складових сил при мао присвячений *третій розділ* роботи.

Зразками, що брали участь в експерименті, були циліндричні деталі діаметром 16 мм та висотою 30 мм. Зразки виконані з бронзового сплаву БраЖ, сплаву алюмінію Д16, титану ВТ8 та Сталі 40Х13. Матеріали деталей були обрані з огляду на феро- та парамагнітні властивості матеріалів, а також на триботехнічні властивості матеріалу. Швидкість руху зразків в робочій зоні складала 1 – 3 м/с, Швидкість обертання зразків навколо своєї осі 0...80 рад/с. Індукція магнітного поля становила 0,18 та 0,25 Тл.

Автором визначено процеси пов'язані з особливостями поведінки часток МАІ при безпосередньому контакті з оброблюваними деталями в процесі МАО, та виникненням зон заклинювання порошку, що знаходяться між поверхнею деталі та полюсними наконечниками верстата. Показано, відмінності в характері взаємодії між МАП та деталлю, так використання порошків з округлою формою (Полімам-М) спричиняє переважно пластичне деформування поверхневого шару оброблюваної поверхні зразків з діа- та парамагнітних зразків. Найбільший вплив на зміну сил фрикційного походження має збільшення розміру часток МАП.

Було встановлено, що сили опору суттєво залежать від магнітних та реологічних властивостей магнітно-абразивного інструменту. При МАО лобовий опір для немагнітних деталей практично однаковий і не залежить від швидкості оброблення, а зі збільшенням магнітної індукції у робочих зонах має місце його лінійне зростання.

Четвертий розділ присвячений висвітленню результатів досліджень впливу розмірів оброблюваної деталі на сили при МАО. Так, розглядаючи інші деталі, оброблені МАО (зокрема, лопатки турбоагрегатів), автор робить висновок, що величина магнітної індукції має прямий вплив на значення сили опору, а саме: сила опору збільшується при збільшенні

величини магнітної індукції. Також ним показано, що вплив швидкості руху деталі в середовищі МАІ має місце при малих значеннях магнітної індукції (0,2...0,22 Тл) через бінгамовський характер середовища.

Частково автор звертає увагу і на коливальний характер взаємодії. Він зазначає: розглянуто причини та наслідки періодичних коливань сили опору та вплив технологічних параметрів на величину цих коливань. Визначено, що періодичні коливання залежать від *характеру* при різних швидкостях оброблення. При збільшенні швидкості оброблення з 1 до 3,5 м/с відбувається зменшення коливань з 40% до 15% відносно середнього значення сили опору.

П'ятий розділ автор присвячує вивченню впливу форми оброблюваної деталі на сили при МАО. При цьому він зазначає, що форма деталей (для даних умов експерименту) не має безпосереднього впливу на силу опору (різниця на більше 15%), проте дослідження питомого опору показало, що співвідношення питомого опору деталей різної форми можна представити у вигляді коефіцієнту, що подібний коефіцієнтами опору в аеродинаміці, проте зумовлений іншими процесами та явищами.

Тут же автор описує наявність мертвої зони магнітно-абразивного порошку та описує явище розширення цієї мертвої зони МАП на полюсних наконечниках при обробленні феромагнітних деталей великого розміру (розмір деталі 16 мм при ширині робочої зони 35 мм), що залежить від безпосередньої близькості поверхонь феромагнітної деталі до полюсних наконечників. Це явище суттєво підвищує силу опору від 20 до 70%.

Автором сформульовані висновки та узагальнення по роботі.

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

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлені у 6 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 6 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України. Також результати дисертації були апробовані на 6 наукових фахових конференціях.

Варто зазначити, що результати дисертаційної роботи достатньо повно відображені автором у його наукових публікаціях. Кожна публікація автора має прямий зв'язок з розділами дисертації. Крім того, у цих працях відсутній плагіат і дотримано принципи академічної доброчесності.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

Однак по роботі також мається і ряд зауважень.

- 1) Які саме триботехнічні властивості обиралися та враховувалися при дослідженнях? Про реологічні властивості автор часто згадує, однак ні описів реологічних моделей, ні схем взаємодії не наводить (стор. 47-48, розд.2.2)
- 2) Як саме змінюється величина η залежно від напруженості магнітного поля? Стор.71-73. Також можна припустити, що співвідношення сил (нормальної та тангенціальної) визначатиметься також і пара- або діамагнітними властивостями оброблюваної заготовки.
- 3) Незрозумілим залишається питання: чому у якості досліджень впливу розмірів деталей на виникаючі сили (розділ 3) обрано циліндричний профіль. Адже із практичної точки зору більш цікавими є профілі, що погано обтікаються: наприклад, пласка пластина, конус та ін. такі профілі також мають крайки, зміна яких вкрай важлива із експлуатаційної точки зору. У подальшому, розд. 5, автор вивчає вплив інших профілів на сили опору, хоча доцільно було б цю інформацію подавати в одному місці (стор.102).
- 4) Чи враховувалися автором умови взаємодії обтічного профілю із утвореннями МАІ? Автор про це повідомляє, однак розрахункових схем не наводить, рис. 4.5, стор.82
- 5) Наведена на стор.95-96 приклад обробки деталі у вигляді лопатки турбін потребує уточнення щодо моделей, прийнятих автором раніше: це був циліндричний зразок. Виникає питання: наскільки точними можуть бути отримані автором результати?
- 6) Оскільки автор робить висновок, що середовища МАІ є бінгамовським (стор.100), слід було б навести таку модель і зазначити, саме завдяки яким результатам досліджень був зроблений такий висновок
- 7) Не зрозумілим є те, що автор пропонує висновок (стор.101): «...періодичні коливання залежать від *характеру* при різних швидкостях оброблення...». Характер кого саме має такий вплив?
- 8) Рисунок 5.7, стор.112, не зовсім узгоджується із схемою та інформацією, наведеною на стор.98, рис. 4.15 (розділ 4) і потребує пояснень: адже розірвана структура за рахунок обтікання профілю буде чинити певний опір, що проявлятиметься у випадку обтікання квадрату, встановленого ребром.
- 9) Потребує також уточнення поняття «Мертва зона», про яку автор згадує у 5 розділі на стор. 119.

В цілому робота носить закінчений характер, логічно структурована і не зважаючи на окремі зауваження, відображає особисті здобутки автора. Автором опубліковано 6 праць в журналах кат.Б, Україна, достатньо апробовано на 6 конференціях, у тому числі, міжнародних.

Робота відповідає усім вимогам до дисертацій на здобуття ступеня «доктор філософії» за спеціальністю 131- Прикладна механіка.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Заставського Костянтина Олеговича на тему «Формування інструментального середовища при магнітно-абразивному обробленні в великих магнітних зазорах» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для механічної інженерії. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в 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 Заставський Костянтин Олегович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 13 - Механічна інженерія за спеціальністю 131 – Прикладна механіка

Рецензент

професор кафедри конструювання машин Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Д.т.н., проф.


Підпис гр. З А Олександр САЛЕНКО

Відділ кадрів і архівної справи № 6