

Відгук

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора Пермякова Олександра Анатолійовича

на дисертаційну роботу Мироненка Олега Євгеновича

на тему «Підвищення ефективності обробки лезвійним інструментом

асиметричних циліндричних зубчастих коліс»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

з галузі знань 13 Механічна інженерія

за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування

Актуальність теми дисертаційної роботи.

Підвищення конкурентноспроможності машинобудування України значною мірою визначається впровадженням та удосконаленням гірничодобувального, переробного обладнання, а також потужних транспортних систем, у конструкціях яких використовують великогабаритні приводи, що містять зубчасті передачі з великим модулем. На відміну від більшості комплектуючих сучасних механізмів зубчасті колеса належать до деталей підвищеної складності і працемісткості. Це й зумовлює розроблення напрямків підвищення ефективності обробки лезвійним інструментом великогабаритних зубчастих коліс для зубчастих передач із постійним навантаженням зачепленням в одному напрямку, за рахунок забезпечення формоутворення великомодульних коліс з асиметричним профілем зубів, що має важливе науково-практичне значення. Тому представлена робота є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, темами, планами.

Тема дисертації О.Є. Мироненка повністю відповідає науковому напрямку кафедри «Комп'ютеризовані мехатронні системи, інструмент і технології» та науковому напрямку спеціальності «Галузеве машинобудування». Дисертація виконана в межах науково-дослідної кафедральної роботи № 0118U006894 «Розробка та вдосконалення верстатопрограмних систем важкого машинобудування для енергоефективної обробки деталей».

Ступінь обґрунтованості наукових положень.

Запропонована концепція розробки напрямків підвищення ефективності обробки лезвійним інструментом асиметричних зубчастих коліс, обґрунтована комплексом теоретичних, лабораторних та промислових досліджень та експериментів. Положення та висновки, наведені в дисертаційній роботі Мироненка Олега Євгеновича, в достатній мірі обґрунтовані як з наукового, так і з технічного поглядів. Обґрунтованість отриманих у роботі наукових положень, висновків і рекомендацій базується на використанні математичного апарату теорії імовірності та математичної статистики, методів математичного та імітаційного моделювання з використанням ліцензійного програмного забезпечення.

Дослідження виконані з використанням математичного апарату та сучасного комп'ютерного моделювання. Результати перевірені шляхом проведення практичних експериментів, що підтверджує обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність результатів теоретичних досліджень підтверджується результатами проведених експериментальних досліджень.

Наукові результати в повній мірі розкривають особливості підвищення ефективності обробки лезвійним інструментом асиметричних циліндричних зубчастих коліс.

Наукова новизна одержаних результатів.

Наукова новизна результатів, отриманих в дисертаційній роботі, полягає в наступному:

1) Уперше розроблено напрямки забезпечення високої продуктивності процесу обробки лезвійним інструментом великомодульних циліндричних зубчастих коліс з асиметричним профілем зуба шляхом багатокритеріальної оптимізації режимів зубофрезерування з урахуванням енергоефективності та особливостей процесу формоутворення збірними модульними фрезами, що дає змогу забезпечити

прогнозовану асиметричну форму, якість поверхневого шару зубців та задані експлуатаційні властивості зубчастих передач

2) Науково обґрунтовано та побудовано оптимізаційну модель енергоефективної обробки великомодульних циліндричних зубчастих коліс з асиметричним профілем з урахуванням не одного, а декількох критеріїв, що впливають на ефективність зубофрезерування – приведені витрати, продуктивність праці, витрати твердого сплаву, потужність різання. Включення в систему цільових функцій потужності різання, дозволяє виявити оптимальні режими процесу обробки, що мінімізують в певних межах енерговитрати .

3) Розроблено математичну модель розподілу теплових потоків при фрезеруванні крупномодульних зубчастих вінців збірними черв'ячними фрезами з криволінійною формою передньої поверхні твердосплавної пластини і знятті великих перерізів зрізу. Запропонована математична модель дозволяє прогнозувати при заданих режимах різання розподіл теплових потоків і температуру в системі: стружка – твердосплавна пластинка збірної черв'ячної фрези – зубчастий вінець.

4) Уперше впроваджено системний підхід до інструментального забезпечення формоутворення зубчастих коліс з асиметричним профілем , що базується на апараті відповідностей і графовій моделі. Цей підхід враховує особливості елементів технологічної системи , а інструментальна система розуміється як набір конструктивних варіантів і розмірів збірних фрез з механічним кріпленням багатогранних пластин для формоутворення великомодульних зубчастих коліс.

Наукове та практичне значення.

Наукові досягнення за роботою мають для науки і практики такі цінні результати: з урахуванням особливостей формоутворення зубчастих коліс з асиметричним профілем, виходячи із системного підходу, визначені основні принципи інструментального забезпечення та запропоновано конструктивні варіанти збірних модульних фрез для нарізання великомодульних зубчастих коліс на важких зубофрезерних верстатах з урахуванням особливостей обробки; доведено, що при зубофрезеруванні великомодульних асиметричних зубчастих

вінців рудорозмельних млинів з високолегованих сталей, на поверхні твердосплавної багатогранної пластини з криволінійною передньою поверхнею на збірній черв'ячній модульній фрезі виникаюча температура визначає продуктивність обробки, стійкість твердосплавної пластини і елементів збірної фрези; для впровадження енергозберігаючих технологій на виробництві були досліджені технологічні фактори, що визначають електроспоживання, і на цій основі, побудовані оптимізаційні моделі енергоефективності процесу зубофрезерування які ураховують критерії, що впливають на ефективність зубофрезерування – наведені витрати, продуктивність праці, витрата твердого сплаву, потужність різання. Включення в систему цільових функцій потужності різання дозволяє призначати оптимальні режими процесу зубообробки, що мінімізують в певних межах енерговитрати

Практична цінність результатів праці полягає у підвищенні ефективності обробки лезвійним інструментом асиметричних зубчастих коліс за рахунок використання системи збірних фрез та оптимізації режимів зубофрезерування з урахуванням енергоефективності лезвійної обробки. а саме: застосування зубчастих передач з асиметричною формою зубів замість традиційного симетричного профілю дозволяє забезпечити покращені експлуатаційні властивості та довговічність великогабаритних машин, редукторів, рудорозмелювальних млинів, транспортерів.

Результатів досліджень впроваджені:

1) на ПрАТ “Новокраматорський машинобудівний завод” (м. Краматорськ), ПАТ «Краматорський завод важкого верстатобудування»– профільних підприємствах, де виготовляють великомодульні зубчасті колеса;

2) у навчальному процесі Донбаської державної машинобудівної академії та Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Основні наукові результати дисертації опубліковано у 6 наукових статтях в яких повністю відображені основні результати дисертації, з них 5 статей у наукових

фахових виданнях України та 1 стаття у виданні, яке входить до міжнародних наукометричних баз. Опубліковано 8 тез доповідей.

Опубліковані матеріали повністю відображають зміст дисертації та відповідають вимогам пункту 8 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44.

Структура та зміст дисертації, її завершеність та відповідність встановленим вимогам щодо оформлення.

Дисертаційна робота відрізняється чіткою та логічною структурою, що дозволяє повною мірою розкрити зміст проведених досліджень. Вона складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 2 додатків. Загальний обсяг роботи становить 170 сторінок.

Вступ є першим структурним елементом дисертації, що обґрунтовує актуальність обраної теми дослідження, її зв'язок з науковими програмами та темами. У вступі сформульовані мета та задачі дослідження, визначено об'єкт та предмет дослідження. Наведена наукова новизна і практична значущість одержаних результатів. Також надано інформацію про особистий внесок здобувача, апробацію результатів дисертації на наукових конференціях та перелік публікацій за темою дисертації із визначенням вкладом здобувача.

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану обробки великомодульних зубчастих коліс, з акцентом на можливість формування асиметричного профілю зуба, необхідного для забезпечення надійних експлуатаційних характеристик зубчастих передач у важкому машинобудуванні. Встановлено, що подальше підвищення ефективності обробки таких коліс стримується недостатнім дослідженням процесів зубофрезерування асиметричних циліндричних зубчастих коліс.

У розділі 2 дисертації представлено методичні підходи формоутворення асиметричних зубчастих коліс та управління якістю і продуктивністю

зубофрезерування. Розроблено методику розрахунку зубчастої передачі з асиметричним профілем зуба великомодульних зубчастих коліс, яка враховує особливості навантаження та умови експлуатації. Для обробки великомодульних асиметричних зубчастих коліс розроблена блок-схема алгоритму визначення оптимальних розмірів профілю черв'ячних фрез із протуберанцем з метою забезпечення сприятливих умов чистової обробки. Запропонована методологія управління якістю та продуктивністю зубофрезерування асиметричних зубчастих коліс. Розглянуто теоретичні аспекти взаємозв'язку параметрів стану поверхневого шару зубчастих коліс з умовами їх обробки, що забезпечують задані експлуатаційні властивості.

У третьому розділі обґрунтовано підходи до прогнозування міцнісних параметрів стану асиметричних зубчастих коліс. Розроблено блок-схему розрахунку оптимальних параметрів стану контактуючих поверхонь асиметричних зубчастих коліс з урахуванням системи критеріїв, що характеризують стан поверхневого шару. Доведено що для зубчастих передач із постійним навантаженням зачепленням в одному напрямку особливу роль відіграє зона контактування, яка визначає рівень експлуатаційної надійності при високих навантаженнях, тому для робочого профілю зуба колеса рекомендується застосовувати більший кут тиску, для неробочого профілю – менший. Розроблено алгоритм виготовлення великомодульних асиметричних зубчастих коліс з урахуванням параметрів стану робочих поверхонь, точності форми зуба колеса, що забезпечують задані експлуатаційні властивості, надійність і довговічність вузлів редукторів та механізмів.

Розділ 4 дисертаційної роботи присвячений розробленню системи інструментального забезпечення формоутворення великомодульних асиметричних зубчастих коліс. На основі особливостей формоутворення зубчастих коліс з асиметричним профілем зуба визначено основні принципи сучасного інструментального забезпечення обробки коліс: обмеження номенклатура фрез за рахунок оптимізації необхідної кількості різноманітних компоновок та положень

багатогранних пластин ; обов'язкове використання багатогранних пластин з оптимальними параметрами передньої поверхні, що забезпечують задовільне стружквідведення. Оптимізовано довжину головних ріжучих крайок багатогранних пластин фрез та проведено аналіз конструкцій для формоутворення великомодульних асиметричних зубчастих коліс. Обґрунтовано формоутворення великомодульних асиметричних зубчастих коліс дисковими немодульними фрезами з механічним кріпленням багатогранних пластин

У п'ятому розділі автором досліджено фізичні процеси зубофрезерування при обробці великомодульних асиметричних зубчастих коліс. Розроблена математична модель розподілу теплових потоків при фрезеруванні зубчастих вінців рудорозмельних млинів збірними черв'ячними фрезами з криволінійною формою передньої поверхні твердосплавної пластини і знятті великих перерізів зрізу. Для впровадження енергозберігаючих технологій на виробництві досліджено технологічні фактори, що визначають електроспоживання, і на цій основі, побудовано оптимізаційні моделі енергоефективності зубообробки. Створено теоретичну модель процесу різання під час фрезерування зубчастих коліс, засновану на узагальненому енергетичному критерію що стало науковою основою для розробки методики розрахунку і теоретичного визначення оптимальних режимів зубофрезерування черв'ячними модульними фрезами з механічним кріпленням багатогранних твердосплавних пластин.

Загалом дисертація логічно побудована, матеріал викладено послідовно , що забезпечує цілісне сприйняття представлених результатів. Робота має усі необхідні елементи оформлення.

Академічна доброчесність

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

Усі результати, які винесено автором на захист, отримані самостійно і містяться в опублікованих роботах. У роботах, опублікованих у співавторстві, використані тільки ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих

наукових пошуків.

Зауваження до дисертації.

1. У п. 2.2 «Формоутворення черв'ячних фрез із протуберанцем для обробки великомодульних асиметричних зубчастих коліс» на стор. 56 дисертації представлено алгоритм визначення оптимальних розмірів профілю черв'ячних фрез із протуберанцем для обробки асиметричних зубчастих коліс, але не зрозуміло як визначаються оптимальні розміри самого протуберанця.

2. Враховуючи, що експлуатаційні показники контактуючих поверхонь великомодульних зубчастих коліс з часом змінюють свої значення, з урахуванням зміни величини лінійного зміщення вершини зуба колеса стор. 87, треба було б надати рекомендації забезпечення експлуатаційних властивостей зубчастих коліс з використанням оцінювання параметрів стану контактуючих поверхонь.

3. У пункті 4.3 «Формоутворення великомодульних асиметричних зубчастих коліс дисковими немодульними фрезами з механічним кріпленням багатогранних пластин» розглянуто різні схеми різання дисковими фрезами та запропоновано фрези з механічним кріпленням багатогранних пластин(рис 4.12. 4.13, 4.15) але не вказано для яких схем обробки їх найбільш раціонально використовувати.

4. У пункті 5.3 «Багатокритеріальна оптимізація режимів фрезерування асиметричних зубчастих коліс з урахуванням енерговитрат» на стор.138 наведена залежність споживаної верстатом потужності та середнього крутного моменту при зустрічному фрезеруванні, але доцільно було б провести дослідження при попутному зубофрезеруванні.

5. В матеріалах роботи відсутнє порівняння виготовлення симетричних і асиметричних зубчастих коліс за економічними показниками.

6. У роботі є деякі стилістичні та орфографічні помилки.

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

Висновок

Дисертаційна робота Мироненка Олега Євгеновича «Підвищення ефективності обробки лезвійним інструментом асиметричних циліндричних зубчастих коліс», яка подана до захисту у спеціалізовану Вчену раду на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування, за своєю актуальністю, науково-теоретичним рівнем, обґрунтованістю основних положень, отриманими результатами та їх практичним значенням повністю відповідає вимогам пунктів 6, 7, 8 і 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 КМУ від 12.01.2022 р. №44, а здобувач Мироненко Олег Євгенович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування.

Офіційний опонент:

завідувач кафедри «Технологія машинобудування та металорізальні верстати»
Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»,
доктор технічних наук, професор,

