

ВІДГУК

офіційного опонента Сичука Віктора Анатолійовича на дисертаційну роботу Абрамова Сергія Олексійовича «Підвищення експлуатаційних характеристик і властивостей колекторних вузлів на основі покращення технології виготовлення ламелей» виконану за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування

1. Загальна характеристика роботи

Дисертаційна робота виконана на кафедрі технології машинобудування Національної металургійної академії України Міністерства освіти і науки України і направлена на вирішення науково-технічної задачі, яка полягає в розробленні технології виготовлення мідних ламелей колекторних вузлів двигунів постійного струму з урахуванням показників виготовлених колекторних профілей з метою формування текстурованої бічної поверхні ламелі для підвищення експлуатаційних характеристик і властивостей колекторних вузлів.

Основні результати теоретичних та експериментальних досліджень за темою дисертаційної роботи опубліковані у 20 наукових працях.

Дисертація складається з вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації становить 186 сторінки машинописного тексту, в тому числі – 74 ілюстрацій, 22 таблиць, список використаних літературних джерел з 82 найменувань та 5 додатків.

2. Оцінка актуальності роботи та відповідність її планам наукових досліджень

Дисертаційна робота присвячена новому підходу до вирішення проблеми щодо підвищення експлуатаційних характеристик і властивостей колекторних вузлів, за рахунок оптимізації активації бічної поверхні мідної ламелі, що оброблена струменево-абразивним методом.

Збільшення терміну роботи двигунів та підвищення експлуатаційних властивостей з забезпеченням заданих характеристик є надзвичайно важливою задачею машинобудівних підприємств. Вирішення та дослідження даного питання значно підвищить життєвий цикл та сприятиме науковому розвитку в даній галузі.

На підставі встановлених закономірностей протікання процесів контактної взаємодії бічних поверхонь мідних ламелей з пластинами слюдопласту визначено, що ефективні значення трибопоказників досягаються при обробці поверхонь ламелей струменево-абразивним методом і є актуальною науковою задачею.

Була визначена закономірність впливу шорсткості на довговічність роботи колекторних вузлів та встановлена раціональна зона шорсткості бічних поверхонь ламелей. Також визначено, що бічні частини колекторних ламелей в місцях контакту з ізолюючими пластинами слюдопласту, текстуровані з шорсткістю $Ra=6,3-12,5\text{мкм}$, при цьому коефіцієнт тертя спокою забезпечений на рівні 0,7-0,9. Це дозволило отримати суттєву перевагу при виготовленні колекторного профілю з меншою точністю, що, в свою чергу, сприяє перешкоджанню радіальним

переміщенням колекторних ламелей в зчепленні з пластинами слюдопласту, що зберігає рельєф контактної поверхні колектора, та сприяє підвищенню технологічності та надійності ресурсу колекторного вузла.

Дисертаційна робота виконана на кафедрі «Технології машинобудування» та відповідає напряму наукових досліджень Національної металургійної академії України (НМетАУ). Дослідження виконані в межах програми та відповідної тематики держбюджетної науково-дослідної роботи кафедри технології машинобудування НМетАУ: ДР №307010019, а також госпдоговірної науково-дослідної роботи з ПАТ «ДАЗ» (Х №307020017). Автор був виконавцем цих робіт.

3. Оцінка наукової новизни результатів дисертації

Під час реалізації поставленої в дисертаційній роботі мети сформульовано наукову новизну та предмет дослідження. Мета роботи полягає у підвищенні життєвого циклу колекторних вузлів електричних машин постійного струму, шляхом розробки технологічних методів, що формують функціональні та мікро- і макрогеометричні характеристики поверхневих шарів ламелей колекторних вузлів, а також сприятимуть компенсації кутових похибок ламелей.

Предмет дослідження - закономірності формування мікро- та макрогеометричних параметрів бічних поверхонь мідних ламелей колекторних вузлів електричних машин.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

1. Набула розвитку технологія виготовлення мідних ламелей колекторних вузлів на основі наукового обґрунтування технологічного забезпечення якості бічних поверхонь ламелей для тривалої працездатності колекторного вузла;

2. Набула розвитку математична модель, яка дозволила отримати аналітичні залежності, що об'єднують параметри процесу струменево-абразивної обробки з параметрами якості бічної поверхні ламелі;

3. Уперше встановлена закономірність протікання процесів контактної взаємодії текстурованих бічних поверхонь мідних ламелей з пластинами слюдопласта;

4. Уперше визначена закономірність впливу шорсткості на довговічність роботи колекторних вузлів та встановлені оптимальні параметри шорсткості бічних поверхонь ламелей.

4. Оцінка достовірності та обґрунтованості положень дисертації

Наукові положення, висновки та пропозиції у достатній мірі обґрунтовані теоретичним аналізом, експериментальними дослідженнями та виробничими випробуваннями, тому їх слід вважати цілком достовірними.

Результати досліджень, що наведені в роботі є досить обґрунтованими. Дослідження проводилися з використанням наукових основ технології машинобудування, теорії коливання пружних систем, теорії надійності машин і сучасної теорії та практики дослідження надійності технологічного забезпечення якості та експлуатаційних властивостей деталей машин, фізико-статистичної теорії формування геометричних параметрів поверхонь, теоретичних основ технологічного забезпечення параметрів стану поверхневого шару та

експлуатаційних характеристик деталей на стадіях їх виготовлення, методах розв'язання диференціальних рівнянь для моделювання системи динаміки; методів планування експерименту і математичної статистики для проведення експериментальних досліджень, аналізу та подальшого оброблення цих результатів. Результати експериментальних досліджень одержані з використанням спеціально розробленого устаткування та оснащення і методів математичного моделювання, математичної статистики, сучасних фізичних методів та металографічних досліджень функціонально-орієнтованих процесів.

Висновки і рекомендації, які наведені в дисертаційній роботі, є достатньо обґрунтованими, їх достовірність підтверджена експериментально.

Повнота викладу результатів досліджень підтверджена 4-ма фаховими публікаціями та 1-м патентом України на корисну модель.

5. Цінність отриманих результатів для науки і техніки

Дисертаційна робота Абрамова Сергія Олексійовича є самостійним завершеним науковим дослідженням, яке спрямоване на підвищення життєвого циклу колекторних вузлів електричних двигунів постійного струму.

Реалізація отриманих результатів дозволяє вдосконалити технологічні параметри нового способу текстурування бічних поверхонь мідних ламелей колекторних вузлів.

На основі наукових положень та проведених досліджень результати роботи впроваджено на ПАТ «ДАЗ» м. Дніпро.

Матеріали дисертації використовуються у навчальному процесі під час виконання практичних та лабораторних робіт з дисциплін «Фізико-технологічні методи обробки в машинобудуванні» та «Науково-дослідна робота студента» на кафедрі технології машинобудування в Національній металургійній академії України.

6. Ступінь висвітлення основних результатів дисертації у наукових виданнях, ідентичність змісту автореферату й основних положень дисертації

За результатами наукових досліджень автором опубліковано 20 публікацій в тому числі 4 у фахових виданнях, 1 у міжнародних наукових виданнях, 1 патент України на корисну модель та 4 закордонних колективних монографіях. Основні положення та результати роботи доповідались й обговорювались на 11-и вітчизняних та міжнародних конференціях, тому отримані здобувачем наукові результати достатньо повно висвітлені у публікаціях.

Теоретичні дослідження, висновки та рекомендації сформульовані дисертантом є науково обґрунтовані, аргументовані і достовірні.

Автореферат за своїм змістом відповідає основним положенням, висновкам, пропозиціям, що наведені в дисертаційній роботі, відображає її структуру. Автореферат за змістом, основними положеннями та висновками ідентичний з дисертацією.

7. Загальна характеристика роботи

У вступі обґрунтовано актуальність та доцільність дисертації, сформульовано її мету і завдання, визначено об'єкт, предмет та методи дослідження, наукову новизну та практичну цінність роботи для машинобудування, подано відомості про апробацію результатів, публікації та структуру роботи.

У першому розділі виконано систематизацію інформації науково-технічних джерел та аналіз існуючих конструкцій колекторних вузлів електродвигунів постійного струму.

Здійснений аналіз вимог до технологічних та експлуатаційних властивостей колекторних вузлів встановив, що відсутні чіткі рекомендації до вибору технологічних параметрів обробки бічних поверхонь ламелей.

Розроблено загальний підхід розробки функціонально-орієнтованої технології виготовлення профільних ламелей колектора ДПС. Розглянуто функціональне призначення профільних ламелей та їх елементів. Проведено об'єднання функціональних зон та елементів в модулі, для подальшої спільної їх обробки. Розроблена структура експлуатаційних функцій ламелей колекторного вузла і графа функціональних елементів за рівнями поділу ламелі. У зв'язку з чим, компенсації похибок куткових розмірів профілю мідних ламелей необхідно реалізувати спеціальні схеми технологічного впливу на бічні поверхні ламелей.

У другому розділі подано методика та результати теоретичних досліджень процесу струменево-абразивної обробки з використанням математичного моделювання та оптимізації параметрів.

В основу математичної моделі процесу обробки потоком абразивних частинок покладена модель одиничного акту контактної взаємодії. З огляду на складний характер процесів, що відбуваються під час обробки потоком абразиву, доцільно відокремити деякі сторони досліджуваного явища, використовуючи певну структуру математичної моделі. Особливістю моделі шорсткої поверхні є детермінований характер розташування сегментів на елементарній ділянці. Це дозволило істотно спростити подальшу побудову моделі контактної взаємодії. Шорстка поверхня оброблюваного матеріалу моделювалася сукупністю сферичних сегментів, параметри яких підпорядковуються нормальному закону розподілу і визначаються в результаті аналізу профілограм поверхні.

Абразивні частинки потоку моделювалися сферами, розміри яких є випадковими величинами, тому відтворювалися відповідно до закону розподілу ймовірностей, що відповідає з відсотковим вмістом великій, основній та малій фракціям абразивного матеріалу.

Моделювання контактної взаємодії абразивних частинок з оброблюваною поверхнею здійснювалося у два етапи. На першому етапі визначено положення точки контакту моделі абразивної частинки, розміри якої спочатку більші від шорсткості поверхні; на другому - проаналізовано напружений стан моделі шорсткості.

Проведена імітація величин зернистості абразиву та швидкості потоку за допомогою експериментального планування імітаційних експериментів з моделлю процесу текстурування.

Адаптація математичної моделі до умов реального завдання включало верифікацію моделі та була проведена відповідно до результатів імітації і реальної обробки потоком абразивних частинок. Також у роботі було проведено визначення залежностей шорсткості бічної поверхні мідної ламелі колекторного вузла від основних параметрів струменево-абразивної обробки: кута атаки, тиску повітря, відстані від зразка та часу обробки. Таким чином, було прийнято оптимальні значення факторів в наступному вигляді: $L=40-0,25\text{мм}$; $D_{\text{кр}}=10,5+0,25\text{мм}$; $K=0,35\pm 10\%$; $\tau=10\text{с}$, $\alpha=45^\circ$, $P_{\text{п}}=0,8\text{МПа}$.

У третьому розділі висвітлено методику та результати експериментальних досліджень процесу струменево-абразивної обробки бічних поверхонь ламелей.

Дослідження здійснювалися в лабораторних і виробничих умовах на натурних зразках мідних профілів колекторних смуг. У зв'язку з тим, що у відомих джерелах з досліджень струменево-абразивної обробки матеріалів відомості стосовно міді та її сплавів відсутні, були проведені додаткові експерименти щодо визначення оптимальних параметрів текстурування колекторних ламелей.

Металографічний аналіз структури мідних зразків було виконано за допомогою оптичного мікроскопа у режимі світлого поля та визначено відмінність в розмірі зерна мідного профілю, яка пов'язана з наявністю зональної нерівномірності протікання процесів рекристалізації, що викликано нерівномірними температурними полями, неоднорідними умовами перебігу металу, локальним характером деформації.

Було проведено аналіз мікротвердості вихідного стану мідної ламелі та пластини слюдопласта за допомогою мікро-нанотвердоміру методом впровадження скретч-тестера та визначено, що залежність глибинного проникнення від довжини траси, як у повздовжньому, так і поперечному напрямку майже не відрізняється. В той же час залежність глибинного проникнення під навантаженням, як у повздовжньому, так і поперечному напрямку мідної ламелі має незначні відхилення.

Також було здійснено морфологічний аналіз абразивних матеріалів та визначено, що для текстурування поверхні мідних ламелей методом струменевої обробки запропоновано використання карбіду кремнію чорного, який має осколкову форму та розміром 1500мкм .

Експериментальні підтвердження математичного моделювання дозволили внести корегування у конструкцію експериментальної струменево-абразивної установки для оздоблювально-формуючої обробки бічних поверхонь колекторних ламелей з соплом Лаваля.

У четвертому розділі подано методику та результати досліджень контактної взаємодії бічних поверхонь з пластинами слюдопласта. Через відсутність єдиної методики випробувань контактної жорсткості, вирішення завдання підвищення монолітності колекторного вузла здійснювалося в лабораторних і виробничих умовах на натурних зразках методом безпосередніх вимірювань параметрів запресування пакета в кільце.

Зроблено розрахунок зусиль обтиску та питомих тисків між ламелями колекторного вузла та ізоляційними пластинами при запресовуванні набраного пакета в технологічне кільце.

Для запресовування підбираються технологічні кільця з розмірами, які забезпечують монолітне обтиснення з появою пластичної деформації на бічній поверхні ламелей на глибину 0,1-0,2мм.

Знаючи значення міцності електротехнічної міді на зрушення та глибину зони деформації визначаємо зусилля обтиску і похідне значення питомого тиску між ламелями та ізоляційними пластинами.

Від сили стиснення P_0 при запресовуванні пакету в кільце шляхом розкладання за кутом профілю α переходимо до питомого тиску між ламеллю та ізоляційною пластиною, застосовуючи сили тертя між ними та знаючи коефіцієнт тертя при заданій шорсткості бічної поверхні ламелі.

Була прорахована схема забезпечення арочного розпору за всією висотою бічної поверхні ламелі з компенсацією допустимого відхилення кута профілю, за рахунок змінання отриманої шорсткості. У партії мідних ламелей відхилення α на +01'03", збігається з наведеним розрахунком та дозволяє зімкнути поверхні за рахунок змінання та проникнення виступів. Умова жорсткості на відсутність зсуву ламелей: $F_{\text{тр бічних пов.}} > F_{\text{ц.б.}} + F_{\text{вibr.}} + F_{\text{темпер.}}$ або $F_{\text{тр}} > K_{\text{в}} \cdot K_{\text{т}} \cdot F_{\text{ц.б.}}$, у зв'язку з чим коефіцієнти експлуатаційних сил носять емпіричний характер, який пов'язаний із залишковим дисбалансом та робочою температурою.

В роботі також було проведено вимірювання кута колекторних ламелей (взятих у випадковому порядку) до струменево-абразивної обробки. За результатами вимірювань зроблено висновок, що похибка кутів ламелей, взятих з однієї партії для складання в колекторний вузол, сягає 2,3%.

Був розраховано взаємозв'язок між площею контакту ламелей та параметрами шорсткості. Згідно отриманих результатів визначено, що при збільшенні щільності розподілу амплітуд збільшується коефіцієнт відносної опорної довжини ламелі та зменшується значення середнього арифметичного відхилення ламелі. Проте розподіл значень за кожним параметром свідчить, що домінуючу залежність мають параметри щільності розподілу амплітуд та середнє арифметичне відхилення ламелі.

У зв'язку з тим, що сила тертя спокою прямо пропорційна коефіцієнту тертя спокою були проведені дослідження зі збільшення коефіцієнту тертя спокою між мідними колекторними ламелями та слюдопластовими пластинами. Результати дослідження показали, що бічні поверхні мідних ламелей, профіль яких було отримано холодним деформуванням, мають коефіцієнт тертя спокою в середньому 0,247 при шорсткості поверхні $R_a=0,6\text{мкм}$. За даних умов зусилля запресовування мідних колекторних пластин та слюдопластових пластин в колекторний вузол становить 1,0МПа. При досягненні шорсткості бічних несучих поверхонь $R_a = 6,3 - 12,5\text{мкм}$ та збереженні граничних розмірів товщини мідного профілю, коефіцієнт тертя спокою склав 0,7-0,9. У цьому випадку зусилля запресовування склало 2,0-2,5МПа.

В п'ятому розділі висвітлено результати виробничих випробувань колекторних вузлів та зібраних електродвигунів постійного струму, розрахунок техніко-економічної ефективності використання електродвигунів та результати їх промислового впровадження.

Автором в процесі роботи були проведені експериментальні дослідження, які підтвердили адекватність моделювання і правильність обраної технології. На цій підставі була виготовлена дослідна партія колекторних вузлів в виробничих умовах.

Проведені виробничі випробування показали, що текстурування поверхонь зі збільшенням шорсткості без знімання матеріалу та без зміни геометричних параметрів профілю дозволяє в зоні контакту мідних ламелей з ізоляційними пластинами підвищити коефіцієнт тертя спокою, що призводить до збільшення зусилля запресовування що в свою чергу дозволить отримати гарантований натяг та монолітність колекторного вузла. Проведення ресурсних випробувань згідно технічного опису та інструкції з експлуатації двигуна постійного струму ДП-0,25.

В результаті випробувань на розгін отримано збільшення монолітності дослідних колекторів в 2 рази. Отримана можливість компенсації відхилення кута колекторної ламелі та проникнення виступів шорсткості в межах 5-10мкм.

Дослідний електродвигун після ресурсних випробувань (відпрацювання 40000 включень-виключень при повному навантаженні на вал), розбирання та дефектації знаходиться в задовільному стані, відповідає в повну обсязі технічним умовам. Після перевірки колекторного вузла на перепад ламелей виявлено, що у дослідному колекторному вузлі перепад ламелей на 25-35% менше у порівнянні з серійними колекторними вузлами, тобто ресурс роботи двигуна збільшено у середньому на 30%.

Розраховано економічний ефект від впровадження технології виготовлення колекторних вузлів у виробництво і становить п'ять мільйонів дев'ятсот тридцять п'ять тисяч п'ятсот гривень.

Отримані результати становлять науково-практичний інтерес та впроваджені у виробництво ПАТ «ДАЗ» при модернізації технології виготовлення колекторних вузлів для двигунів постійного струму.

Характеристика загальних висновків

Наведені в дисертаційній роботі висновки та рекомендації є достатніми і належним чином обґрунтованими. Для їх отримання автором приведені необхідні теоретичні та експериментальні дослідження, результати яких розроблені згідно програми і методики та опубліковані у відкритому друці.

Дані наведені в пунктах 1, 2, 3, і 4 підтверджені результатами теоретичних та експериментальних досліджень.

Висновок 5 отриманий на основі експериментальних досліджень і підтверджений деклараційними патентами.

Пункти 6, 7 підтверджені результатами (актами впровадження) ресурсних випробувань колекторних вузлів та впровадженням розробленої технології у діюче виробництво з наведеними рекомендаціями.

8. Зауваження щодо змісту дисертації

1. У роботі незрозуміло, яким чином було обрано сопло Лавалля, а не для прикладу Вентурі, при виготовленні струменево-абразивної установки в якості вихідного сопла.
2. Чому у третьому розділі при вимірюванні шорсткості, на оброблених різним абразивом, поверхнях показано максимальні значення?
3. Варто було б конкретизувати шляхи технологічного впливу абразивного матеріалу на досліджувані деталі для досягнення рівномірного текстуровання мідних ламелей.
4. У 5 розділі варто було б приділити більше уваги описанню висновків після випробувань ніж розрахунком техніко-економічної ефективності.
5. В роботі зустрічаються невдалі звороти та русизми.

9. Висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам

Вказані недоліки не знижують наукового та практичного рівня дисертаційної роботи і не впливають на позитивну оцінку в цілому.

Зміст і структура дисертації відповідають паспорту спеціальності 05.02.08 — технологія машинобудування.

Проведені дослідження, які відображені у дисертаційній роботі, авторефераті та публікаціях засвідчують, що робота Абрамова Сергія Олексійовича «Підвищення експлуатаційних характеристик і властивостей колекторних вузлів на основі покращення технології виготовлення ламелей» є закінченою науково-дослідною працею, яка за змістом, об'ємом, науковою новизною і практичним значенням відповідає паспорту спеціальності 05.02.08 технологія машинобудування і містить нові рішення актуальної науково-технічної задачі — підвищення життєвого циклу колекторних вузлів електричних машин постійного струму, шляхом розробки технологічних методів, що формують функціональні та мікро- і макрогеометричні характеристики поверхневих шарів ламелей колекторних вузлів, а також сприятимуть компенсації кутових похибок ламелей. Актуальність, практичне значення, новизна і закінченість досліджень, обґрунтування і достовірність висновків заслуговують позитивної оцінки.

На основі вищевказаного вважаю, що кандидатська дисертація Абрамова С.О. є завершеною науково-дослідною роботою, яка за науковим рівнем і практичним значенням отриманих результатів відповідає вимогам, які ставляться до кандидатських дисертацій, а її автор заслуговує присвоєння йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 — технологія машинобудування.

Офіційний опонент:

кандидат технічних наук, доцент кафедри

«Прикладної механіки»

Луцького національного технічного університету



ПІДПИС ЗАСВІДЧУЮ:
 Завідний секретар
 ЛУЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
 ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
 доц. А.Земко

В.А. Сичук

