

Ибраим Әлібек Саматұлының

«Электр қозғалтқышының конструкциясын жақсарту үшін аддитивті технологияның қолдану мүмкіндіктерін зерттеу» тақырыбындағы 8D07113 – «Аддитивті өндіріс» білім беру бағдарламасы бойынша Философия докторы (PhD) ғылыми дәрежесін алу үшін ұсынылған диссертациялық жұмыстың

АННОТАЦИЯСЫ

Жұмыстың жалпы сипаттамалары

Диссертация қылмыссыз тұрақты ток (BLDC) электр қозғалтқыштарын жобалауда қосымша технологияларды әзірлеу және тәжірибелік тексеру жұмыстарына арналған, бұл энергия тиімділігін, қуат тығыздығын және жүктеме кезінде жылу тұрақтылығын арттыруға бағытталған. Зерттеу дәстүрлі электр машиналарын өндіру технологияларының шектеулерін жеңуге бағытталған. BLDC электр қозғалтқыштары саласындағы қазіргі зерттеулер мен патенттік шешімдерге аналитикалық шолу жүргізіліп, дәстүрлі технологиялар геометрияны оңтайландыруды және тиімді салқындату жүйелерін біріктіруді шектейтінін, бұл жылу жоғалтудың артуына және айнымалы жүктемелер кезінде тиімділіктің төмендеуіне әкелетінін көрсетті. Зерттеудің әдістемелік негізі — BLDC электр қозғалтқыштарын жобалауға жүйелі тәсіл, оның ішінде автордың энергия тиімділігі мен жүктеме кезінде қуатты азайту әдісі. Жұмыста CAD/CAE модельдеу, FEA, CFD және топологиялық оңтайландыру әдістері қолданылады. Статор, ротор және мотор корпусының параметрлік модельдері 3D басып шығарудың шектеулерін ескере отырып жасалып, жан-жақты термиялық және электромеханикалық оңтайландыру жүргізілді. Интеграцияланған салқындату арналары бар корпустар мен термиялық интерфейс элементтерін топологиялық оңтайландыру жұмыс температурасын төмендетуге және қуатты арттыруға мүмкіндік берді, ротор мен қуат электроникасын өзгертпей-ақ. Прототиптердің тәжірибелік сынақтары есептелген нәтижелердің сенімділігін және әзірленген шешімдердің практикалық қолданылуын растады, бұл жаңа буын BLDC электр қозғалтқыштарында қосымша технологияларды енгізудің ғылыми-инженерлік негізін құрайды.

Жұмыстың маңыздылығы

Диссертацияның маңыздылығы электр көліктерінде, ұшқышсыз ұшқыштар мен роботтық жүйелерде кеңінен қолданылатын щеткасыз тұрақты ток қозғалтқыштарының (BLDC) энергия тиімділігіне, нақты қуатына, салмағы мен өлшеміне және жылу сенімділігіне деген талаптардың өсуіне байланысты. Қазіргі жұмыс жағдайлары айнымалы жүктемелер мен жоғары жылу ағындарымен ұзақ мерзімді жұмыс істеумен сипатталады, салмақ пен өлшемдерге қатаң шектеулер қойылады, бұл электр қозғалтқыштарын жобалауға жоғары талаптар қояды.

Дәстүрлі электрлік машина технологиялары шектеулі жобалау икемділігіне ие және салқындату жүйелерін тиімді біріктіруге мүмкіндік бермейді, бұл жүктеме астында жұмыс істегенде жылу жоғалтудың артуына және энергия тиімділігінің төмендеуіне әкеледі. Қосымша өндірістің дамуы құрылымдарды топологиялық оңтайландыру мен жылу өткізуді жақсартуға жаңа мүмкіндіктер ашады, бірақ оның жүзеге асырылуы интеграцияланған жобалау әдістерінің болмауымен шектеледі. Осыған байланысты, BLDC электр қозғалтқыштарын қосымша технологияларды пайдаланып жобалау әдістерін әзірлеу және тиімділік көрсеткіштеріне назар аудару шұғыл ғылыми-техникалық міндет болып табылады.

Диссертациялық зерттеу нәтижесінде

Диссертациялық зерттеулер нәтижесінде қосымша өндіріс технологиялары арқылы жасалған щеткасыз тұрақты ток қозғалтқыштарының (BLDC) энергия тиімділігін, жылу тұрақтылығын және жұмыс сенімділігін арттыруға бағытталған ғылыми және практикалық нәтижелер жинағы алынды.

BLDC электр қозғалтқыштары саласындағы қазіргі зерттеулер мен патенттік шешімдерге аналитикалық шолу жүргізілді, онда дәстүрлі өндіріс технологиялары геометрияны оңтайландыру мен тиімді салқындату жүйелерін біріктіру мүмкіндігін шектейтінін, бұл жүктеме астында жұмыс істегенде жылу жоғалтулардың артуына және энергия тиімділігінің төмендеуіне әкелетінін көрсетті. Осы негізде жылулық, механикалық және электромагниттік факторларды ескере отырып, электр қозғалтқыштарын аддитивті бағытталатын жобалау талаптары қалыптасты.

Электр қозғалтқыштарының құрылымдық элементтерін өндіру үшін қосымша өндіріс материалдары мен технологияларын таңдау расталды. Al_2O_3 негізіндегі цермет материалдары дәстүрлі алюминий қорытпаларымен салыстырғанда жоғары жылу тұрақтылығы мен тиімді пассивті жылу таратуын қамтамасыз ететіні анықталды.

BLDC статоры, роторы және мотор корпусының параметрлік CAD/CAE модельдері әзірленіп, FEA және CFD әдістерін пайдаланып термиялық, механикалық және электромагниттік процестердің күрделі сандық модельдеуі жүргізілді. Ішкі салқындату арналарымен корпус пен жылу өткізгіш компоненттердің топологиялық оңтайландыруы жүргізілді, бұл құрылымның салмағын және термиялық төзімділігін азайтуға мүмкіндік берді. Статор салқындату арналарының ішкі көлемі 26-дан 132 мл-ге дейін ұлғайтылды, бұл салқындату ортасының айналым ағынын бес есе арттырды.

BLDC электр қозғалтқыштарының жүктеме кезінде энергия тиімділігін сандық бағалау әдісі әзірленіп, сынақтан өткізілді, мұнда орамалардың жылу күйі мен электр параметрлерінің өзгерістері ескеріледі. Статор салқындату жүйесін оңтайландыру роторды өзгертпей-ақ қуатты 15%-ға дейін арттыруға мүмкіндік беретінін, цермет материалдарын қолдану жұмыс температурасын 24%-ға дейін төмендететіні және интеграцияланған салқындату арналары бар

оңтайландырылған AlSi10Mg қорытпасынан жасалған корпус температураны 30%-ға дейін төмендетуге және шығыс қуатын 17%-ға дейін арттыруға мүмкіндік беретіні тәжірибелік түрде дәлелденген.

Нәтижелердің сенімділігі есептелген және эксперименттік деректерді салыстыру арқылы расталады, ал олардың практикалық қолданылуы энергияны үнемдейтін көлік және жарыс зауыттарына арналған эксперименттік электр қозғалтқыштарында әзірленген шешімдерді енгізу арқылы дәлелденеді, бұл BLDC электр қозғалтқыштарының жаңа буынын дамытудың ғылыми-инженерлік негізін құрайды.

Зерттеудің мақсаты мен міндеттері

Диссертацияның мақсаты — коллекторсыз тұрақты ток электр қозғалтқыштарын жобалауда аддитивті технологияларды қолдану тәсілдерін әзірлеу және ғылыми негіздеу, бұл тиімділікті арттырып, жүктемелер кезінде энергия тұтынуды азайтады

Диссертацияның мақсаттары

1. BLDC қозғалтқыш компоненттерін аддитивті өндіру саласындағы қазіргі зерттеулер мен патенттік шешімдерге аналитикалық шолу, дәстүрлі жобалардың геометриялық, термиялық және технологиялық шектеулерін анықтау және қосымша бағытталған жобалау талаптарын қалыптастыру.

2. Статор, ротор және мотор корпусын өндіру үшін қосымша өндіріс материалдары мен технологияларын таңдауды полимер, алюминий және металл-керамикалық материалдардың жылу өткізгіштігі, жылуға төзімділігі, беріктігі және өндірістік тұрғысынан салыстырмалы бағалау негізінде дәлелдену.

3. 3D басып шығару шектеулерін ескере отырып, BLDC статоры, роторы және мотор корпусының параметрлік CAD/CAE модельдерін әзірлеу және жылулық, механикалық және электромагниттік процестердің жан-жақты сандық модельдеулерін жүзеге асыру.

4. Салқындату арналарын енгізу арқылы масса мен термиялық төзімділікті азайту үшін корпус пен жылу өткізгіш компоненттердің топологиялық және құрылымдық оңтайландыруын жүзеге асыру.

5. Энергия тиімділігін бағалау және BLDC электр қозғалтқыштарының жүктемедегі қуатының төмендеуін болжау әдістемесін әзірлеу және эксперименттік тексеру, қосымша өндірістің технологиялық және экономикалық тиімділігін талдау.

Зерттеу нысаны

Коммутаторсыз тұрақты ток қозғалтқыштары (BLDC) толықтыратын өндіріс технологияларымен жасалған.

Зерттеу тақырыбы

Коллекторсыз тұрақты ток электр қозғалтқыштарының конструкциясы, жылу және қуат сипаттамалары, бұл олардың тиімділігін, қуатын және қосымша өндіріс технологияларын қолданғанда жүктемеге төзімділігін анықтайды.

Ғылыми жаңалықтары

Щеткасыз тұрақты ток қозғалтқыштарының тиімділігін есептеу әдісі әзірленді, ол жүктеме астында жұмыс істегенде қуаттың төмендеуі мен қуат тұтынуының өсуін орнатқыштардың термиялық күйі мен электрлік параметрлерін ескере отырып өлшеуге мүмкіндік береді. Топологиялық оңтайландыру және ішкі салқындату арналарының құрылуы арқылы статор салқындату жүйесінің тиімділігін арттыру электр қозғалтқышының шығыс қуатын ротор мен басқа құрылымдық элементтерді өзгертпей-ақ 15%-ға дейін арттыратыны анықталды. Қосымша өндіріс арқылы жасалған Al_2O_3 негізіндегі металл-керамикалық материалдарды қолдану алюминий қорытпаларымен салыстырғанда тиімдірек пассивті жылу өндіруге мүмкіндік беретіні және жұмыс температурасын 24%-ға дейін төмендететіні тәжірибелік түрде расталды. $AlSi10Mg$ қорытпасынан жасалған корпусың интеграцияланған салқындату арналары бар жылулық және құрылымдық оңтайландыру алғаш рет жұмыс температурасын 30%-ға дейін төмендетіп, қуат шығаруды негізгі жобамен салыстырғанда 17%-ға дейін арттырды.

Жұмыстың теориялық маңызы

Коллекторсыз тұрақты ток электр қозғалтқыштарының энергия тиімділігін есептеу әдісі әзірленді, бұл электр қозғалтқышының тиімділігін және жүктеме кезінде қуатты азайтуды термиялық және электрлік параметрлерді ескере отырып сандық бағалауға мүмкіндік береді.

Салқындату жүйелерінің геометриясының теориялық тәуелділігі мен құрылымдық элементтердің топологиялық оңтайландыруы жылу жағдайлары мен тұрақты токтың коллекторсыз электр қозғалтқыштарының рұқсат етілген қуат тығыздығына әсері анықталды.

Алюминий және цермет материалдарынан жасалған қосымша өндірілген BLDC мотор компоненттеріндегі жылу өткізу үлгілері олардың жылу тұрақтылығы мен энергия тиімділігін пассивті салқындату кезінде анықтайды.

Жұмыс нәтижелерінің практикалық маңызы

Коммутаторсыз тұрақты ток қозғалтқыштарының тиімділігі мен қуатын азайту үшін әзірленген әдістеме BLDC электр қозғалтқыштарын жобалау және жаңғыртуда қолданылады, олардың энергия тиімділігін цифрлық жобалау кезеңінде бағалауға болады.

Қосымша өндіріс әдістерімен жасалған статорлар мен мотор корпустарының топологиялық оңтайландырылған жобалары ротор мен қуат электроникасын салқындату жүйесінің құрылымдық элементтерін ауыстыру арқылы электр қозғалтқыштарының шығыс қуатын 17%-ға дейін арттыруға мүмкіндік береді.

3D басып шығару арқылы алынған Al_2O_3 негізіндегі металл-керамикалық материалдарды пайдалану нәтижелері стандартты алюминий қорытпаларымен салыстырғанда жылуды тиімдірек таратуға мүмкіндік беретін пассивті салқындатылатын электр қозғалтқыштарын әзірлеуде қолданылуы мүмкін.

AlSi10Mg қорытпасынан жасалған және оңтайландырылған мотор корпусары ішкі салқындату арналары электр көліктеріне, дрондарға және энергия үнемдейтін электр жетегтерге арналған электр қозғалтқыштарын жобалау мен өндіру тәжірибесіне енгізілуі мүмкін.

Зерттеу әдістері мен әдістері

Зерттеудің әдістемелік негізі — жинағышсыз тұрақты ток қозғалтқыштарын жобалауға жүйелі тәсіл, оның ішінде қосымша технологиялар, оның ішінде жүктеме астында жұмыс істегенде энергия тиімділігі мен қуатты азайту үшін әзірленген әдістеме бар. Жұмыста электр машиналары теориясының аналитикалық әдістері, сандық модельдеу әдістері (FEA, CFD), топологиялық оңтайландыру, параметрлік CAD модельдеу және электр қозғалтқыштарының компоненттерін қосымша өндіру үшін қолданылатын материалдардың салыстырмалы талдауы қолданылады.

Қорғанысқа ұсынылған ғылыми ережелер

1. Коллекторсыз тұрақты ток электр қозғалтқыштарының энергия тиімділігін есептеу әдісі, орамалардың термиялық күйі мен қозғалтқыштың конструкциялық ерекшеліктерін ескере отырып, электр қозғалтқышы жүктемеде жұмыс істегенде тиімділікті сандық түрде анықтап, қуаттың төмендеуін болжауға мүмкіндік береді.

2. Топологиялық оңтайландыру (генеративті жобалау) және ішкі салқындату арналарын қосу әдісі арқылы статор мен стандартты статордың ішкі көлемі 26 миллилитрден 132 миллилитрге дейін артты, ал ішкі айналмалы су ағыны 5 есе артты.

3. 3D басып шығарылған Al_2O_3 керамикалық материалдарды қолдану стандартты алюминий қорытпаларымен салыстырғанда тиімдірек пассивті жылу шығаруға мүмкіндік береді, және электр қозғалтқышының жұмыс температурасы сол жұмыс жағдайларында 24%-ға дейін төмендетілуі мүмкін.

4. AlSi10Mg қорытпалы мотор корпусының ішкі салқындату арналарымен термиялық және құрылымдық оңтайландыру дәстүрлі жобамен салыстырғанда жұмыс температурасын 30%-ға дейін төмендетіп, электр қозғалтқышының қуатын 17%-ға дейін арттырады.

Сенімділік дәрежесі және нәтижелерді тексеру

Ғылыми нәтижелердің сенімділігі

Ғылыми нәтижелердің сенімділігі электр машиналары теориясының дәлелденген теориялық талаптарын пайдалану, сандық модельдеу әдістерін (FEA, CFD) және топологиялық оңтайландыруды, сондай-ақ жобаланған деректерді электр қозғалтқыштарының прототиптерін сынау және эксперименттік зерттеулер нәтижелерімен салыстыру арқылы қамтамасыз етіледі.

Жұмыс нәтижелері мен жарияланымдарының мақұлдауы

Диссертациялық зерттеу барысында алынған нәтижелер 2024 жылғы 2 шілдеден 6 шілдеге дейін Индонезияда (Ломбок аралы) өткен Shell Eco-Marathon Asia, Pacific and Middle East 2024 жоғары энергиялы көлік инженериясы

байқауында ұсынылды. Байқау аясында FDM (Fused Deposition Modeling) технологиясын қолданатын қосымша өндіріс арқылы өндірілген электр қозғалтқышы көрсетілді.

Диссертациялық зерттеу нәтижелері негізінде Scopus және Web of Science дерекқорларында индекстелген журналдарда екі ғылыми мақала жарияланды, сондай-ақ Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім сапасын қамтамасыз ету комитеті ұсынған басылымдар тізіміне енгізілген ғылыми журналдарда төрт мақала жарияланды. Сонымен қатар, диссертация материалдары негізінде өнертабысқа бір патент тіркелді, бұл алынған нәтижелердің ғылыми және практикалық маңыздылығын растады; Тағы екі патент тексерілді.

Жұмыс нәтижелерін практикалық іске асыру және жүзеге асыру

Диссертация нәтижелері коллекторсыз тұрақты ток электр қозғалтқыштарының қосымша өндірілген компоненттерін жобалау және өндіру барысында жүзеге асырылды және Shell эко-марафон жарыстарына қатысуға дайындалған энергияны үнемдейтін прототиптерде қолданылатын электр қозғалтқыштарының тәжірибелік үлгілеріне енгізілді, сондай-ақ Formula Student студенттік инженерлік сериясының жарыс көліктерінде салмақ азайтылуда, жылу жағдайлары жақсартылып, энергия тиімділігі арттырылады тиімділік. Станция.

Диссертацияның құрылымы мен ауқымы

Диссертация кіріспеден, төрт тараудан және қорытындыдан тұрады. Диссертация 128 беттен, 40 суреттен, 13 кестеден, 76 библиографиялық дереккөзден тұрады.