

8D07208 – «Аддитивті өндіріс» білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін дайындалған диссертациялық жұмысқа

АҢДАТПА

ӘБІЛЕЗОВА ҒАЗЕЛ САПАРҚЫЗЫ

Тақырыбы: «Қалдық кернеулердің қабаттарды синтездеу арқылы өсірілетін бөліктердің механикалық сипаттамаларына әсерін зерттеу»

Кез келген тапсырмаға оңай бейімделу және ең аз шығындармен өндіріске күрделі геометрия өнімдерін мүмкіндігінше жылдам іске қосу қабілетінің арқасында 3D басып шығару әртүрлі салаларға белсенді түрде енгізілуде және бүкіл әлем бойынша зерттеу назарында. Қазіргі уақытта бұйымдарды аддитивті өндіру әдістерінің тұтас гаммасы бар, бірақ ең кең таралған және қолжетімді 3D басып шығару технологиясы балқытылған полимер жіптерін қабаттап орналастыру арқылы немесе FDM (Fused Deposition Modeling - Балқытылған Шөгінділерді Модельдеу) әдісі болып табылады.

FDM технологияларында қолданылатын ең перспективті материалдардың бірі - полифениленсульфон (ПФСн), ол акрилонитрилбутадиенстиролының (АБС) қасиеттерінен айтарлықтай асып түседі, стиролбутадиен сополимері (СБС), соққыға төзімді полистирол (УПС), полилактид (ПЛА), полиэтилентерефталат - гликоля (ПЭТГ) және т.б. Әр түрлі салалардағы композиттерді әлемдік тұтынудың өсіп келе жатқан үлесі сонымен қатар полифениленсульфон негізіндегі, атап айтқанда көміртекті талшықтармен нығайтылған композициялық материалдарды аддитивті технологияларға тартудың шұғыл қажеттілігін тудырады. Полимерлі өнімдердің қасиеттерінің қалыптасуына материалдың құрылымы ғана емес, сонымен қатар өңдеу әдісі де әсер ететіні белгілі. Аддитивті технологияларда полимерлі материалдарды қолдану бойынша осы уақытқа дейін жинақталған эксперименттік мәліметтер 3D басып шығарумен алынған өнімдерінің қасиеттері дәстүрлі қайта өңдеу әдістерімен салыстырғанда, 3D технологиялары физикалық-механикалық әсер етуі мүмкін көптеген басып шығару параметрлерін реттеуге мүмкіндік беретініне қарамастан, құю бұйымдарының қасиеттерінен едәуір төмен екенін көрсетеді.

Жаңа мүмкіндіктер машина жасау өнеркәсібінде 3D жабдықты әзірлеу және енгізуден кейін пайда болды. Әзірге барлық жерде емес, бірақ бірқатар салаларда аддитивті технологиялар дәстүрлі өндіріс әдістерін жылдам алмастыра бастады. Машина жасауда 3D басып шығару әртүрлі тапсырмаларды тиімді, жылдам және тиімді шешуге мүмкіндік беретін жағдайлар жасайды. Бұл міндеттердің ішінде мыналар бар:

- тәжірибелік үлгілерді әзірлеу және жаңа бөлшектер мен тораптарды шығару (концепциялық үлгілер, сынақ үлгілері);

- неғұрлым заманауи жүйелерді және/немесе олардың элементтерін құру;

- жөндеу және/немесе ескі бөлшектерді ауыстыру өндірісі.

3D жабдықтары іс жүзінде өзінің тиімділігін және жоғары сапалы және арзан өнім шығару мүмкіндігін көрсетті.

Заманауи 3D басып шығару жүйелері машина жасау саласындағы инженерлер мен дизайнерлердің алдында тұрған міндеттердің ең кең ауқымын тез және тиімді шешуге мүмкіндік береді.

Аддитивті технологияны қолдану арқылы жасалған бөлшектердің сапасына айтарлықтай әсер ететін факторлардың бірі – **қалдық кернеулер**. Технологиялар мен модельдеудің айтарлықтай дамуына қарамастан, қалдық кернеулер әлі де аз зерттелген және анықтауы қиын, әсіресе анизотропты материалдарға қатысты. Бұл аддитивті технологиялар немесе композиттік материалдар арқылы алынған конструкцияларда жиі кездеседі. Қазіргі уақытта жаппай тиімділік бойынша талаптар қойылатын композиттер көптеген конструкцияларда кеңінен қолданылады, мысалға ұшақ жасауда, ғарыштық техникада, кеме жасауда, энергетикада және т. б. Сонымен қатар, қалдық кернеулерді зерттеуге дұрыс көзқарас маңызды.

Композициялық материалдар тиімді қолданылатын қолданыстағы конструкциялардың көпшілігі жұқа қабырғалы немесе торлы болып келеді немесе композиттік тірек қабаттары мен жеңіл толтырғыштары бар сэндвич панельдері болып табылады. Мұндай өнімдерді есептеуге және жобалауға ресейлік және шетелдік ғалымдардың көптеген жұмыстары арналған. Әдетте, композициялық материалдар жоғары температура мен қысымда қалыптасады, содан кейін олар қалыпты температураға дейін салқындатылады. Термиялық кеңею процестерінің нәтижесінде, сондай-ақ композициялық материалдардың құрамына кіретін компоненттердің термосерпімділік қасиеттерінің айырмашылығын ескере отырып, бөлшектерде қалдық кернеулер пайда болуы мүмкін. Бөлшектердің өнімділігін төмендете отырып, бұл кейіннен композиттердің беріктігінің төмендеуіне, бекемдету құрылымдарының бұзылуына және бекемдету коэффициенттері шамаларының өзгеруіне әкелуі мүмкін. Кейбір жағдайларда бөлшектердегі қалдық кернеулердің деңгейі аса жоғарылауынан сақтау процесінде материалдың жарылуы немесе бұзылуы байқалады. Қалдық кернеулердің біртіндеп релаксациясы нәтижесінде бөлшектердің өлшемдері өзгереді және пішіндері бұрмаланады. Көлденең бағыттағы бір бағытты қабаттар қалдық кернеулердің ең үлкен теріс әсеріне ұшырайды. Осы бағытта қалдық температура кернеулері беріктік шегіне жетіп, полимер матрицасында жарықтар тудыруы мүмкін. Композициялық материалдардағы қалдық кернеудің түрін, орналасуын және мөлшерін білу маңызды болады. Сондықтан, осы диссертацияда полимерлер мен дисперсті толтырылған композициялардағы қалдық кернеулерді анықтау үшін дамыған ВСМ - Bridge Curvature Method (көпірдің қисаюы әдістері), оптикалық сканерлеу және серпімділік теориясының кері есебін ақырлы-элементтік талдау (АЭТ) әдістерінің комбинациясы **өзекті болып табылады**.

Жұмыстың негізгі мақсаты - серпімділік теориясының кері есебін ақырлы-элементтік талдау мен Bridge Curvature Method (көпірдің қисаюуы әдістері) комбинациясын қолдана отырып, басылған полимерлі және композиттік өнімдерде қалдық КДК (кернеу-деформация күйі) сенімді анықтау мүмкіндігін зерттеу болып табылады.

Қойылған мақсаттарға сәйкес келесі міндеттер тұжырымдалған:

- полимер мен шыны талшық үлгілерінің беттеріндегі деформацияларды өлшеу үшін bridge curvature (көпірдің қисаюуы) әдісін сынау және енгізу;

- зерттелетін үлгілердегі қалдық кернеулерді бағалау үшін серпімділік теориясының кері есептерін шешу әдістерін әзірлеу және енгізу;

- зерттелетін үлгілердегі қалдық кернеулерді бағалау үшін серпімділік теориясының кері есептерін шешу үшін қолданылатын аналитикалық және сандық әдістердің нәтижелерін салыстыру;

- полимерлі және композиттік бұйымдарды дайындау технологияларының олардың беріктігіне әсерін сандық бағалау;

- 3D басып шығару әдісімен жасалған полимер мен композиттік бөлшектердің беріктігіне қалдық кернеулердің әсерін сандық бағалау.

Зерттеу нысаны полимерлер мен композициялық материалдардағы қалдық кернеулерді анықтау үшін қолданылатын bridge curvature (көпірдің қисаюуы) және оптикалық сканерлеу әдістері болып табылады.

Қорғауға шығарылатын ғылыми ережелер:

- жұмысты орындау барысында 3D басып шығарудың технологиялық факторларынан ПЛА пластмасса қабатының және TOTAL GF 10% (glass fiber) шыны толтырылған композит полимерінің механикалық қасиеттерінің өзгеруін сипаттайтын математикалық заңдылықтар анықталды;

- қалдық кернеулердің деңгейі мен түрінің басылған бұйымдардың механикалық беріктігіне әсері анықталды.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы келесі нәтижелермен анықталады:

- bridge curvature (көпірдің қисаюуы), оптикалық сканерлеу және сандық АЭ (ақырлы элементтік) модельдеудің біріктірілген әдістемесі кері есепті шешу және зерттелетін үлгілердің қалдық КДК сәйкестендіру үшін әзірленді;

- зерттелген полимерлік және композиттік үлгілерде КДК қалдығы бойынша жаңа деректер алынды;

- компьютерлік модельдеу негізінде PLA пластиктің механикалық қасиеттерінің өзгеруінің жалпы заңдылықтары және оның негізінде TOTAL GF 10% (Glass Fiber) шыны толтырылған композит полимері қатты қосындылардың пайыздық мөлшеріне, қосындылардың бөлшектерінің пішініне және олардың матрицадағы бағытына байланысты анықталды;

- құю және 3D басып шығару процесінің технологиялық параметрлерінің дайын өнімнің қасиеттеріне әсері анықталды;

- физикалық-механикалық қасиеттердің өзгеру заңдылықтары полимерден және оның негізінде шыны толтырылған композиттен басып шығарылған үлгілерді басып шығару бағытына, аралық алшақтық растрларына және үлгі растрларының өлшемдеріне байланысты анықталды;

- басылған бұйымдардағы қалдық кернеулердің пайда болу заңдылықтары және олардың жалпы беріктікке әсері анықталды;

- қасиеттері бойынша құюдан төмен емес басып шығарылған үлгілерге мүмкіндік беретін 3D басып шығару режимдері орнатылды.

Алынған нәтижелердің сенімділігі, деформацияланған қатты механиканың қатаң әдістерімен және эксперименттік механиканың сыналған әдістерімен анықталады. Сандық модельдеу өнімнің егжей-тегжейлі модельдерін, жоғары тығыздықты торды және соңғы деформация эффектілерін қолдана отырып, NASTRAN жүйесінде динамикалық өндірісте жүзеге асырылады. Сандық есептеулердің сенімділігі, әрине, ақырлы элементтік тордың мөлшерін өзгерту арқылы, сондай-ақ алынған шешімдерді жеңілдетілген аналитикалық модельдер шеңберіндегі шешіммен салыстыру арқылы бағаланды.

Теориялық және практикалық маңыздылығы. Полимердің және оның шыны толтырылған композиттің физикалық-механикалық сипаттамалары өзгеруінің анықталған заңдылықтары басып шығару параметрлеріне байланысты берілген қасиеттері бар 3D бұйымдарын алудың өте маңызды мәселесін олардың мақсаты мен сыналатын жүктемелердің бағытын ескере отырып шешуге мүмкіндік береді және сонымен бірге аддитивті технологиялардың жаңа прогрессивті саласын одан әрі дамытуға ықпал етеді.

Үш факторлы эксперимент жүргізілді, экспериментті өңдеу толтыру тығыздығы, температура және қабат қалыңдығының полимерлер мен олардың негізіндегі композиттердің механикалық сипаттамаларына технологиялық факторлардың әсерін көрсетті.

Полимерлер мен олардың негізінде композиттерден машина жасаудың жауапты бөлшектерін басып шығарудың технологиялық параметрлерін таңдау бойынша ұсыныстар берілді.

Қалдық кернеулерді анықтаудың ұсынылған жаңа әдістері өнімнің зерттелетін аймақтарындағы материалдың кернеу күйінің толық көрінісін алуға мүмкіндік береді, бұл қалдық КДК есептік модельдерін тексеру, беріктік критерийлерін нақтылау және таңдалған технологиялық өндіріс режимдерінің сапасын бағалау кезінде қажет болуы мүмкін.

Жұмысты апробациялау. Негізгі басылымдар. Диссертация тақырыбы бойынша 7 жұмыс жарияланды, оның ішінде Scopus/ Web of Science индекстелген халықаралық журналда 1 ғылыми жұмыс және Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі сапаны қамтамасыз ету Комитеті ұсынған басылымдардағы мақалалар тізіміне кіретін басылымдарда 3 ғылыми жұмыс жарияланды. Негізгі ережелер мен ғылыми нәтижелер Халықаралық ғылыми-практикалық конференцияларда талқыланып, конференция материалдары жарияланды. Сонымен қатар Ресейлік ғылыми дәйексөз индексіне кіретін журналға 1 мақала жарияланды.

Scopus және WOS базаларына кіретін журналдардағы жұмыстар:

1) Isametova, M., Abilezova G.S., Dishovsky. N., Veleev, P. Development and verification of mechanical characteristics of a composite material made of a

thermoplastic matrix and short glass fibers. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 5, Issue 12-113, 2021, pp.30–38, ISSN:1729-3774.

Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету Комитеті ұсынған басылымдардағы мақалалар тізімі:

2) Исаметова М.Е., Абилезова Г.С., Карпеков Р.К., Ткаченко Д.Е. Исследование влияния конструкции центробежного колеса на напорные характеристики многоступенчатого насоса. Горный журнал Казахстана №9 (209) 2022, стр.28-34, ISSN 2227 – 4766.

3) Isametova M.E., Abilezova G.S., Akhmedov Kh.A. Computer simulation of liquid kinematics in a centrifugal pump and verification of calculation results with experimental data. Горный журнал Казахстана №11 (211) 2022, стр. 47 - 54, ISSN 2227 – 4766.

4) Isametova M.E., Abilezova G.S., Duisengali A.M., Tursynbayeva A.N. Application of rapid prototyping technology in pump engineering. Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева. Серия ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ. Том 143 № 2, 2023, стр. 177-192, ISSN 2616-7263.

Халықаралық конференциялар тізімі: 5) Абилезова Г.С., Дуйсенгали А.М. Остаточные напряжения и методы измерения. «Сатпаевские чтения - 2020», том II, стр.134-138, ISBN 978-601-323-209-6.

6) Isametova M., Abilezova G. Study of the influence of the design of a centrifugal wheel on the pressure characteristics of a multistage pump. MATEC Web of Conferences 366, 01006 (2022) Power Transmissions 2022.

Ресейлік журнал тізімі: 7) Исаметова М.Е., Абилезова Г.С., Дуйсенгали А.М. Компьютерное моделирование композиционных материалов в среде digitat. «Вестник Российского Нового Университета», № 4/1, (№89), 2021, стр. 14-26, ISSN: 2414-9187.

Жұмыстың құрылымы мен көлемі. Диссертациялық жұмыс кіріспеден, төрт тараудан және қорытындыдан тұрады. Диссертация 117 бет, 81 сурет, 39 кесте, 116 библиографиялық дереккөз және 1 қосымшадан тұрады.