

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ВА
ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.28.02.2018.Т.03.04 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

АБДУРАХМОНОВ ХУСНИДДИН ЗАКИРХАНОВИЧ

**МАШИНАСОЗЛИК ДЕТАЛЛАРИНИ ТАЙЁРЛАШ УЧУН 3D
АСОСИДА СИФАТЛИ КУЙМАЛАР ОЛИШ**

**05.02.01 – Машинасозликда материалшунослик. Қуймачилик. Металларга термик ва
босим остида ишлов бериш. Қора, рангли ва ноёб металлар металлургияси
(Қуймачилик ва металларга ишлов бериш йўналиши бўйича)**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD) ДИССЕРТАЦИЯСИ
АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент- 2019

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси
автореферати мундарижаси**
**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по
техническим наукам**
**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD) on technical
sciences**

Абдурахмонов Хусниддин Закирханович
Машинасозлик деталларини тайёрлаш учун 3D асосида сифатли куймалар
олиш.....3

Абдурахмонов Хусниддин Закирханович
Получение качественных отливок для изготовления машиностроительных
деталей на основе 3D печати.....21

Abdurakhmanov Khusniddin Zakirkhanovich
Getting high-quality castings for the manufacture of engineering parts based on 3D
printing.....37

Эълон қилинган ишлар рўйхати
Список опубликованных работ
List of published works..... 41

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ВА
ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.28.02.2018.Т.03.04 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

АБДУРАХМОНОВ ХУСНИДДИН ЗАКИРХАНОВИЧ

**МАШИНАСОЗЛИК ДЕТАЛЛАРИНИ ТАЙЁРЛАШ УЧУН 3D
АСОСИДА СИФАТЛИ КУЙМАЛАР ОЛИШ**

**05.02.01 – Машинасозликда материалшунослик. Қуймачилик. Металларга термик ва
босим остида ишлов бериш. Қора, рангли ва ноёб металлар металлургияси
(Қуймачилик ва металларга ишлов бериш йўналиши бўйича)**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD) ДИССЕРТАЦИЯСИ
АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент- 2019

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2018.4.PhD/Т716 рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси Тошкент давлат техника университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгашнинг веб-саҳифасида (www.tdtu.uz) ва «Ziyonet» Ахборот таълим порталида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар: **Тураходжаев Нодир Джахонгирович**
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар: **Абдуллаев Фатхулла Сагдуллаевич**
техника фанлари доктори, профессор

Атажанов Гапур Латипович
техника фанлари номзоди, доцент

Етакчи ташкилот: **Тошкент темир йўл муҳандислари институти**

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ва Ўзбекистон Миллий университети ҳузуридаги DSc.28.02.2018.Т.03.04. рақамли Илмий кенгашнинг 2019 йил «06» декабр соат 13⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2-уй. Тел./ факс:(99871) 227-10-32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz)

Диссертация билан Тошкент давлат техника университети Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (119-рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2-уй. Тел.:(99871) 227-10-32.)

Диссертация автореферати 2019 йил «22» ноябр куни тарқатилди.
(2019 йил «22» ноябрдаги 120 рақамли реестр баённомаси).

К.А.Каримов

Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш раиси, т.ф.д., профессор

Р.У.Шукуров

Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.д., профессор

Ф.С.Абдуллаев

Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш қошидаги илмий семинар
раиси, т.ф.д., профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жахонда ноананавий усулда сифатли ва арзон қуйма маҳсулотлар олиш технологияларини ишлаб чиқиш алоҳида аҳамият касб этмоқда. Шу билан бирга қуйма маҳсулотлар олишда ресурс тежамкор технологияларни ишлаб чиқиш чиқариш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади. Бу борада дунёнинг қатор мамлакатларининг, жумладан АҚШ, Англия, Германия, Швеция, Россия, Япония, Хитой ва бошқа мамлакатларнинг илмий-тадқиқот марказларида 3D технологиялардан фойдаланиб ресурстежамкорликни таъминлаш асосида сифатли қуйма маҳсулотлар олишда алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жахонда 3D технологиялар ёрдамида қолипсиз қуймалар олиш асосида ресурстежамкорликни таъминлаш бўйича кенг кўламда илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда, жумладан 3D технологиялар асосида қуйма маҳсулотларини ишлаб чиқишда йўқотишларнинг асосий манбаси ҳисобланган материалнинг суяқ ҳолатига келтирмайдиган жараённи қўллаш, қуйма ичидаги моделни қолип сифатига салбий таъсир эттирмасдан ажратиб олиш технологиясини ишлаб чиқиш ва қуйма юзасининг текислигини таъминлаш муҳим аҳамият касб этмоқда. Шу билан бирга қуйма олишда асосий босқич ҳисобланган қуйма моделини тайёрлашда 3D технологияларини қўллаш усулини ишлаб чиқиш зарур ҳисобланади.

Республикамизда сифатли қуйма маҳсулотларини ишлаб чиқариш, қуйма маҳсулотлар олишда ресурстежамкор замонавий технологияларни қўллаш кенг йўлга қўйилган бўлиб, 3D технологиялар асосида қолипсиз қуйма маҳсулотларини ишлаб чиқиш асосида ресурс – ва энергиятежамкорлигини таъминлаш чора-тадбирлари амалга оширилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантири бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «... макроиктисодий барқарорликни мустаҳкамлаш ва юқори иқтисодий ўсиш суръатларини сақлаб қолиш, миллий иқтисодиётнинг рақобатбардошлигини ошириш, ... иқтисодиётда энергия ва ресурслар сарфини камайтириш, ишлаб чиқаришга энергия тежайдиган технологияларни кенг жорий этиш»¹ вазифаси белгилаб берилган. Ушбу вазифаларни амалга ошириш, жумладан 3D технологиялардан фойдаланиб қуйма маҳсулотларини ишлаб чиқишда ресурс тежамкор технологияни ишлаб чиқиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасчини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2016 йил 26 декабрдаги ПҚ-2698-сон « 2017-2019 йилларда тайёр маҳсулот турлари, бутловчи буюмлар ва материаллар ишлаб чиқаришни маҳаллийлаштиришнинг истиқболли

¹ Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони.

лойиҳаларини амалга оширишни давом эттириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги, Ўзбекистон Республикаси Президенти Ш.М.Мирзиёевнинг 2019 йил 24 майдаги Ўзбекистон Миллий университетида таълим ва илм-фан соҳаси вакиллари билан бўлиб ўтган учрашуви 21-сонли мажлис баёни қарорининг 64-банди ижросини таъминлаш ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг Республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот Республика фан ва технологиялар ривожланишининг II. “Энергетика, энергия ва ресурстежамкорлик” устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Дунё таржибасида аддитив технологиялар асосида қуйма маҳсулотлар ишлаб чиқиш ва бу технологияларни амалга ошириш учун қурилмаларнинг қатор конструкциялари яратилган. Қуйиш жараёнида металл йўқотишларини камайтириш учун 3D принтерларнинг конструкциялари ва қурилмалари такомиллаштирилган.

Дунёнинг етакчи олимлари, жумладан Япония олими доктор Хидео Кодама фотополимерлар ёрдамида тезкор нусхалаш тизимини яратган, Техасс университети ва Массачусетс технология институти олимлари Чарльз Халл, Карл Декард ва Скотт Крамп томонидан маҳсулот ишлаб чиқаришнинг стереолитография усули ишлаб чиқилган. Шу усул сабабли 3D-принтерда лойиҳаларни сонли тасвирини яратиш имкони пайдо бўлган ва фотополимер (SLA)нинг лазер стереолитографиясини олиш технологияси ишлаб чиқишган. 3D босманинг оммалашшига ўз деталларини ўзи ишлаб чиқарадиган 3D-принтер яратиш учун доктор Адриан Боуэр томонидан ишга туширилган RepRap лойиҳаси сабабчи бўлган. Канадалик муҳандис Джим Кор 2010 йили бутун корпуси 3D-принтери ёрдамида ясалган Urbee енгил автомобилни намойиш қилган. Буюк Британия олимлари биринчи бўлиб исталган шаклдаги шоколадни ёки оддий шоколад плиткани тайёрлайдиган 3D-принтерини ишлаб чиқишган. Италия олими робототехник Энрико Дини хоналари, зинапоялари, қувур ва тўсиқлари мавжуд бўлган D-Shape принтерини яратган. Бунда у фақат кум ва неорганическ компаунд қўллаган. Олимлар олинган материал мустахкамлигини темирбетон мустахкамлиги билан рақобатбардош эканини эътироф этишган. Германия олимлари Karel Haunz ва Martin Kaz полимер қуқунларини селектив лазер ёрдамида бириктириш технологиясини ишлаб чиқишган.

МДХ олимлари Ю.П.Купряков, В.С.Чахотин, Ю.И.Приходьколар томонидан сарф материални узатиш тезлигининг юқорироқ даражасини таъминлайдиган 3D-принтерининг конструкциясини такомиллаштирилган. Ўзбекистон тадқиқотчилари Н.Д.Тураходжаев, Б.Тухтамуродов, А.Жуманиёзов, Б.Неъматов ва Ж.Ташпулатовлар полимер асосида қуйма маҳсулотлар ишлаб чиқариш учун 3D-принтерининг UZDELTA

конструкциясини ишлаб чиқишган. Бунда қуйиш ҳисобига бўладиган йўқотишларни камайтириш учун қаватларни ётқизишда материалнинг суюқлантириш режими такомиллаштирилган.

Аддитив технологиялар асосида қўйма маҳсулотлар олишда эришилган ютуқларга қарамай ечимини топмаган муаммолар кўп. Масалан, материал сарфини 1,2-1,3 мартага камайтириш имконини берадиган 3D босма ёрдамида қўмакорлик моделлари ёрдамида қўймалар олиш технологияси ишлаб чиқилмаган. Олиб борилган тадқиқотлар асосан ананавий эритиш агрегатлари билан боғлиқ бўлиб, қум-гилли ва кокилли қолипларга қуйиш асосида олиб борилган. Асосий тадқиқотлар металл ва қолип ўртасидаги физик-кимёвий жараёнлар устида олиб борилган, металлнинг қолипдаги кристалланиш жараёнлари ўрганилган. Аддитив технологияларнинг, жумладан модел ва қолип тайёрлашдаги 3D босманинг имкониятлари ўрганилмаган. Қўйма маҳсулотларни олишда 3D босма жараёнини моделлаштириш тадқиқотлари ўтказилмаган, ҳамда қўйма олишда металл йўқотишларини эътиборга олишда долзарб ваъилмий-амалий масала ҳисобланган ишлаб чиқиладиган қўйма маҳсулотнинг сифатига 3D қолипнинг таъсири ўрганилмаган.

Юқорида келтирилган муаммолар ечимини топиш учун таъминлайдиган 3D босма асосида қўйма маҳсулотларини ишлаб чиқиш технологиясини ишлаб чиқиш, қуйиш микдорини камайишига хизмат қиладиган материални қиздириш ва қаватли ётқизиш режимини такомиллаштириш учун тадқиқотлар ўтказиш зарур.

Тадқиқотнинг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университетида илмий-тадқиқот ишлари режасига биноан №СФ-2 2017 йилнинг 28 ноябридаги «Разработка технологии получения литых заготовок методом 3D печати» (2017–2018 йй.) мавзусидаги хўжалик шартномаси доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади 3D асосида сифатли қўйма маҳсулотларни олиш технологиясини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

Қўйма сифатига модел материални ётқизишнинг ҳарорат режимини таъсири даражасини аниқлаш;

Қўйма сифатига қўмакорлик модел материали таркибининг таъсирини аниқлаш;

Олинаётган қўйма сифатига модел геометрик ўлчамларининг таъсири даражасини аниқлаш;

3D технологияси асосида қўйма маҳсулотлар олишда ресурстежамкорликни таъминлайдиган технологияни ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида 3D технологияси асосида олинган қўмакорлик модели ва пўлатдан қўйма маҳсулотлар олинган.

Тадқиқотнинг предмети сифатида 3D технологияси асосида олинган қўмакорлик моделини тайёрлаш, унга ишлов беришнинг қўйма сифатига

таъсирини тадқиқ қилиш, моделни ва қўймани қолипдан ажратиб олиш технологиялари олинган.

Тадқиқотнинг усуллари. Диссертацияда қотишмалардаги кимёвий элементларнинг таркибий миқдорини ва қотишма структурасини ўрағнишда аттестацияланган кимёвий усул ва спектрал Shimadzu русумидаги Рентгенографик анализатор, Metrohm 850 Professional IC русумидаги ионн хроматограф, (SEM-EDX) маркали Zeiss EVO MA 10/AztecEnergyAdvanced X-Act Сканирловчи электрон микроскоплари қўлланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

қўймакорлик маҳсулотларини олишда 3D босма ёрдамида тайёрланган моделдан қўллаш технологияси ишлаб чиқилган;

3D технология асосида маҳсулот ишлаб чиқаришда тезлик ва экструдер диаметри ўртасидаги боғлиқлик графиги ишлаб чиқилган;

3D технология асосида маҳсулот ишлаб чиқаришда сарф материали хоссалари ва экструдер диаметри ўртасидаги боғлиқлик графиги ишлаб чиқилган;

машинасозлик деталларини ишлаб чиқишда бир марталик қолипни тайёрлаш технологияси ишлаб чиқилган;

қўймакорлик моделини қўймакорлик қолипдан нуқсонсиз ажратиб олиш режими ишлаб чиқилган;

3D технология асосида олинган модели бир марталик қўймакорлик қолипларга суюқ металл қуйиш технологияси ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари. Ишлаб чиқилган машинасозлик деталларини тайёрлаш учун 3D асосида сифатли қўймалар олиш технологиясини қўллаш қуйидаги имкониятларни яратади:

машинасозлик деталларини ишлаб чиқишда бир марталик 3D қолипни қўллашда ресурстежамкорликни таъминланиши;

қўймакорлик моделини қўймакорлик қолипдан ажратиб олишда нуқсонларнинг миқдорининг 12-14% га камайиши;

3D технология асосида олинган модели бир марталик қўймакорлик қолипларга суюқ металл қуйишда қўйманинг механик хоссаларининг ортиши.

Тадқиқот натижаларининг ишончилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончилиги аниқ қўйилган вазифа асосида олинган, машинасозлик деталларини тайёрлаш учун 3D асосида сифатли қўймалар олишда экспериментал тадқиқотларнинг кўплиги ва олинган натижаларнинг математик моделлаштириш асосида қайта ишлов берилиши, замонавий техника ва технологиялардан фойдаланиш асосида аниқланган физик-механик ва эксплуатацион хоссаларининг кўрсаткичлари, ҳамда физик-математик формуллари ёрдамида ҳисобланган натижалар билан таққослаш орқали изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти машинасозлик деталларини тайёрлаш учун 3D асосида сифатли қўймалар олишда экструдер ишлаш режимларининг материални қиздириш ҳарорати ва диаметрига боғлиқлик

даражаларини аниқланганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти машинасозлик деталларини тайёрлаш учун 3D асосида сифатли куймалар олиш даврида ресурс тежамкорлигини таъминлайдиган технологиянинг ва шу технологияни амалга оширилишини таъминлайдиган режимни қўллашда ресурстежамкорлигининг 8-10 % га ортиши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Машинасозлик деталларини тайёрлаш учун 3D асосида сифатли куймалар олиш технологиясини ишлаб чиқиш учун олиб борилган тадқиқотлар бўйича олинган илмий натижалар асосида:

куймакорлик моделларини 3D босма асосида олиш технологияси “Навоий машинасозлик заводи”га жорий қилинган (“Навоий кон-металлургия комбинати” ДКнинг 2019 йил 9 апрелдаги 02-06-07/4487-сон маълумотномаси). Натижада моделни тайёрлашда унинг геометрик ўлчамларининг аниқлиги 15–20% га ортишининг имкони яратилган;

машинасозлик деталларини ишлаб чиқишда бир марталик қолип тайёрлаш технологияси “Навоий машинасозлик заводи”га жорий қилинган (“Навоий кон-металлургия комбинати” ДКнинг 2019 йил 9 апрелдаги 02-06-07/4487-сон маълумотномаси). Натижада куйма маҳсулотлар олишдаги унумдорлик 10–12% га ортишининг имкони яратилган;

бир марталик қолипдан моделни ажратиб олиш технологияси “Навоий машинасозлик заводи”га жорий қилинган (“Навоий кон-металлургия комбинати” ДКнинг 2019 йил 9 апрелдаги 02-06-07/4487-сон маълумотномаси). Натижада нобоп маҳсулотларнинг миқдорини 8–10% га камайишининг имкони яратилган;

бир марталик қолипга суюқ металлни қуйиш технологияси “Навоий машинасозлик заводи”га жорий қилинган (“Навоий Кон-металлургия комбинати” ДКнинг 2019 йил 9 апрелдаги 02-06-07/4487-сон маълумотномаси). Натижада юза текислигининг ортиши оқибатида маҳсулот сифати 10–15% га ортишининг имкони яратилган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Диссертациянинг тадқиқот натижалари 16 та, жумладан 9 та халқаро ва 7 та Халқаро ва Республика илмий-амалий анжуманларида ва симпозиумларида муҳокамадан ўтган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 36 та илмий иш чоп этилган. Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг фалсафа доктори (PhD) диссертациялари асосий илмий натижаларни чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларида 9 та мақола, жумладан 7 таси Республика ва 2 таси хорижий журналларда нашр этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 120 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида ўтказилган тадқиқотнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқот мақсади ва вазифалари, объекти ва предметлари тавсифланган, тадқиқотнинг Республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва асосий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, илмий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**3D босма усулида қўймалар олишнинг ҳозирги кундаги ҳолатининг тахлили**» деб номланган биринчи бобида 3D босма усулида қўймалар олишнинг турлари, қуйиш жараёнида металл йўқотишларини камайтириш учун 3D принтерларининг конструкциялари ва қурилмалари келтирилган.

Ҳозирги кунда турли давлатларнинг корпорациялари, фирма ва ташкилотлари томонидан ишлаб чиқарилган технологиялар асосида 3D-принтерларининг конструкциялари такомиллаштириб борилган, жумладан Япония олими доктор Хидео Кодама фотополимерлар ёрдамида тезкор нусхалаш тизимини яратган, Техасс университети ва Массачусетс технология институти олимлари Чарльз Халл, Карл Декард ва Скотт Крамп томонидан махсулот ишлаб чиқаришнинг стереолитография усули ишлаб чиқилган. Шу усул сабабли 3D-принтерда лойиҳаларни сонли тасвирини яратиш имкони пайдо бўлган ва фотополимер (SLA)нинг лазер стереолитографиясини олиш технологияси ишлаб чиқишган. 3D босманинг оммалашшига ўз деталларини ўзи ишлаб чиқарадиган 3D-принтер яратиш учун доктор Адриан Боуэр томонидан ишга туширилган RepRap лойиҳаси сабабчи бўлган. Канадалик муҳандис Джим Кор 2010 йили бутун корпуси 3D-принтери ёрдамида ясалган Urbee енгил автомобилни намоиш қилган. Буюк Британия олимлари биринчи бўлиб исталган шаклдаги шоколадни ёки оддий шоколад плиткасини тайёрлайдиган 3D-принтерини ишлаб чиқишган. Италия олими робототехник Энрико Дини хоналари, зинапоялари, қувур ва тўсиқлари мавжуд бўлган D-Shape принтерини яратган. Бунда у фақат қум ва неорганическ компаунд қўллаган. Олимлар олинган материал мустаҳкамлигини темирбетон мустаҳкамлиги билан рақобатбардош эканини эътироф этишган. Германия олимлари Karel Haunz ва Martin Kaz полимер қуқунларини селектив лазер ёрдамида бириктириш технологиясини ишлаб чиқишган.

МДХ олимлари Ю.П.Купряков, В.С.Чахотин, Ю.И.Приходьколар томонидан сарф материални узатиш тезлигининг юқорироқ даражасини таъминлайдиган 3D-принтерининг конструкциясини такомиллаштирилган. Ўзбекистон тадқиқотчилари Н.Д.Тураходжаев, Б.Тухтамуродов, А.Жуманиёзов, Б.Неъматов ва Ж.Ташпулатовлар полимер асосида қўйма махсулотлар ишлаб чиқариш учун 3D-принтерининг UZDELTA конструкциясини ишлаб чиқишган. Бунда қуйиш ҳисобига бўладиган

йўқотишларни камайтириш учун қаватларни ётқизишда материалнинг суюқлантириш режими такомиллаштирилган. Таъкидландики, машинасозлик деталларини тайёрлаш учун 3D асосида сифатли куймалар олиш технологиясини ишлаб чиқиш зарур.

Диссертациянинг «Тадқиқот қилиш методикасини ишлаб чиқиш» деб номланган иккинчи бобида структура аниқлаш ва намуналарни таҳлил қилишнинг электрон микроскоп ёрдамида микроанализнинг рентгенспектрал усули келтирилган (микрорентген спектрал анализи) ва намуналарнинг эҳтиёрий микроскопик ўлчамдаги қисмининг кимёвий таркибини аниқлаш усули келтирилган.

Усулнинг моҳияти шундаки, растрли ёки нурланадиган электрон микроскоп вакуум камерасига намуна жойлаштирилади ва юқори энергияли фокусланган электрон тўплам ёрдамида нурлантирилади. Электронлар тўплами одатда бир неча микрондан кичикроқ чуқурликдаги юза билан ўзаро таъсирланади. Ўзаро таъсирланиш худудининг хажми тезланувчи кучланиш ва намуна материалининг зичлигига боғлиқ равишда ҳамда катта мишен учун ўнлар улушидан ўн куб микронгача бўлади. Рентген нурланишининг генерацияси электрон ва намуна ўртасидаги нобикир ўзаро таъсирланиши натижаси ҳисобланади. Рентген нурланиши иккита асосий жараён натижасида ҳосил бўлади: характерли нурланиш эмиссияси ва фон эмиссияси ёки тормоз нурланиши.

Юқори энергия электрони атом билан таъсирланиб ички электрон қобикдан бир электронни уриб чиқариши мумкин. Натижада, атом ионлашган ёки қобикдаги вакансияли жунбуш ҳолатига келади. Ташқи қобикдаги бирон электрон ушбу вакансияни тўлдирса нормал ҳолат юзага келади, бу эса унинг энергиясининг ўзгариши билан кузатилади, ўзгариш қиймати эса хар бир кимёвий элемент учун ўзига хос электрон атоми структураси асосида аниқланади. Бу “характерли” энергия икки усул билан атомдан чиқиши мумкин. Бири бу-характерли энергияли рентген фотони эмиссияси, яъни маълум элемент учун ва демак хар бир ўтишнинг специфик кўриниши. Иккинчиси-Оже электронларини озод қилиниши.

Рентген нурланиши фони фотон эмиссияси, атомнинг электр майдонида тормозланишни хис қилганда сезилади. Мишеннинг атомлари билан таъсирланган электронлар ўзининг энергиясининг турли миқдрини йўқотади. Узлуксиз тақсимоти нолдан электрон зондининг тезлаштирилган кучланишигача бўлган бундай фотонлар энергияси, яъни шу даврда чиқарилаётган спектр узлуксиз характерга эга. Фотонлар энергиясининг нурланишининг максимал қиймати атом майдони билан таъсирланишда энергиясини тўлиқ йўқотган электрон тўпламининг энергиясига тенг. Бу энергиянинг қиймати “Дуан-Ханта чегараси” дейилади. Агар намуна юза зарядига эга бўлмаса, Дуан-Ханта чегараси тушаётган тўплам энергиясига тенг бўлади. Рентген фотонлари ҳам заррачалар, ҳам тўлқин хоссаларига эга, шунинг учун уларнинг хоссаларини терминларда энергия ёки тўлқин сифатида қўлласа бўлади. Рентгеноспектрал таҳлил учун энергодисперс

спектрометр (ЭДС) қўлланилди, бу фотонларни энергияси бўйича саралайди, ҳамда тўлқин узунлиги бўйича рентген нурланишини саралайдиган тўлқин дисперс спектрометр (ВДС) қўлланилди.

Даврий системанинг деярли барча элементларининг концентрациясини кенг диапазонда аниқлайдиган, ҳамда турли намуналардаги элементларнинг изотоп муносабатларини аниқлайдиган iCAP-Q – квадрупол ИСП-МС қўлланилди.

Диссертациянинг «**3D босма асосида қўйма махсулотлар олиш технологиясини ишлаб чиқиш**» деб номланган учинчи боби 3D босма усулида қўймалар олишда ресурстежамкорликни таъминлайдиган технологияни ишлаб чиқишга бағишланган.

3D асосида қўйма махсулотлар ишлаб чиқаришнинг иқтисодий самарасини аниқлаш учун харажатларни олинаётган самарага нисбати ўрганилди. Тошкент давлат техника университети «Қўймакорлик технологиялари» кафедраси лаборатория шароитида ва Ўзбекистон -Япония ёшлар инновацион марказининг «Машинасозлик ва материалшунослик» лабораторияси шароитида қўйма махсулотларни олишда газланувчи моделдан фойдаланиш тадқиқоти олиб борилди. Бунинг учун FDM — оқим технологияли 3D принтердан фойдаланилди. Ушбу технологиядан фойдаланишда принтернинг ишлаши бевосита экструдерга ўрнатилган ғалтакли пластик орқали амалга оширилди. Бу конструкциянинг асосий ишлаш принципи пластик симини эритиш, шу симни суяқ ҳолатга келтириш ва берилган параметрлар асосида тагликка материални ётқизишдан иборат.

Бирламчи тадқиқот учун CubeX русумидаги принтердан фойдаланилди, иккинчи босқичда эса CubeXDuo русумидаги принтердан фойдаланилди. Сарф материали сифатида қўйидаги материаллардан фойдаланилди:

- ABS — рангсиз зарбга чидамли материал, оддий прототипларни босма қилишда ишлатилади. Бу материал ишлов беришга мойил, ацетов буғида яхши жилвирланади.

- PLA — паст эриш ҳароратига эга бўлган босма пайтида шаклни яхши сақлайдиган органик пластик.

3D усулда қўйма модели тайёрланди, бу модел кум-гил аралашмали бир марталик қолипга қолипланди. Суяқ қотишма ажралмас қолипга моделни чиқармасдан қуйилди. Қолипдан ажратиб олиш дастаки усулда амалга оширилди. Қўйма сифатини кўзда чамалаб ва асосий геометрик ўлчамларини ўлчам асосида амалга оширилди. Биринчи усулда, яъни суяқ метални ичида модел мавжуд бўлган қолипга қуйилганида 10 та қўйманинг 8 таси тўлиқсиз қуйилиш асосидаги нуқсонли бўлди. Қолган 10 тадан 2 таси кўп микддордаги нометал кўшимчаларга эга бўлди. Олинган қўйма махсулот модел шаклини тўлиқ эгаллаганига қарамай механик хоссаларининг паст кўрсаткичларига эга бўлди. Бу полимердан тайёрланган моделнинг ёнишидан ҳосил бўлган газлар ҳисобига бўлиши эҳтимоли мавжуд [3]. Қуйиш тизими ва қўшимча тирқишларнинг мавжудлиги кутилаётган самарани бермади.

Тадқиқотнинг иккинчи босқичида принтер ёрдамида тайёрланган модел

қолип материали билан қопланиб, сўнгра ундан қиздириш печида модел куйдириб чиқарилди. Куйдириш даврида ёниш газлари ажралиб чиқишини нейтраллаш керак бўлди. Қолип ичи ёниш махсулотларини кули билан ифлосланишининг хавфи мавжуд бўлгани сабабли, қолип тайёрлаш учун материални танлашда кам кулли материал эътиборга олинди. 1-жадвалда 3D босмани қўллаш асосида тайёрланган моделнинг қўлланилиш самарадорлигини аниқлаш тадқиқотларининг натижалари келтирилган. Таъкидлаш лозимки, қиздириш печида ишлов берилганида қолипнинг ўзининг мустаҳкамлигига таъсир қилди. Масалан, печ ичида қолипни 1 соат давомида моделни куйдириб олиш жараёни давом этганида кум-гилли қолипнинг мустаҳкамлиги 10-12 % га ошди, печ ичида 2 соат давомида ушлаб турилганида эса қолипнинг мустаҳкамлиги 30-35 % га ошди. Бу қолип ашёси юзасининг пиширилиши ва ички юзасида қоплама қават ҳосил бўлиши билан боғлиқ бўлиши мумкин. Ҳосил бўлган қоплама иккиламчи самара беради. Бир томондан у қолипнинг юза текислигини таъминлайди, иккинчи томондан қолипга суюқ метал қуйилганида бу қоплама кимёвий реакцияга киришиб, қуймани нометал қўшимчалар билан ифлослайди. 2-жадвалда қуйма юзаси устида олиб борилган тадқиқот натижалари келтирилган.

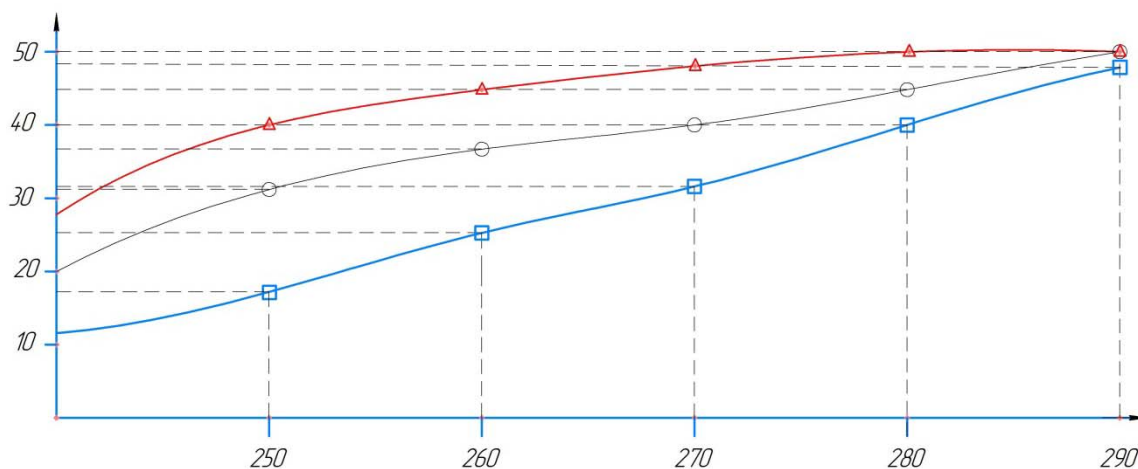
1-жадвал

3D босма асосида тайёрланган модел ёрдамида қуймалар ишлаб чиқариш самарадорлигини аниқлаш тадқиқот натижалари

№	Модел тайёрлаш усули	Модел учун хом ашё	1000 см ³ хажмдаги модел тайёрлаш учун сарфланадиган вақт (соатда)	Изоҳ
1	Ананавий усул (дастаки)	Гипс	8	Промодел тайёрлашга эҳтиёж мавжуд
2	Ананавий усул (автоматлаштирилган)	Ёғоч	3	Қўшимча жилвирлашга эҳтиёж мавжуд
3	3D босма	ABS	2	Габарит ўлчамлар бўйича оғишлар 1,5-2 % ни ташкил этади
4	3D босма	PLA	2	Юқори сифатли қуйма махсулот олинади

Келтирилган натижалардан кўриниб турибдики, 3D босма усулида модел тайёрлаш самарали ҳисобланади. Шу билан бирга 3D босма усулида тайёрланадиган моделар учун PLA материали самарали ҳисобланади.

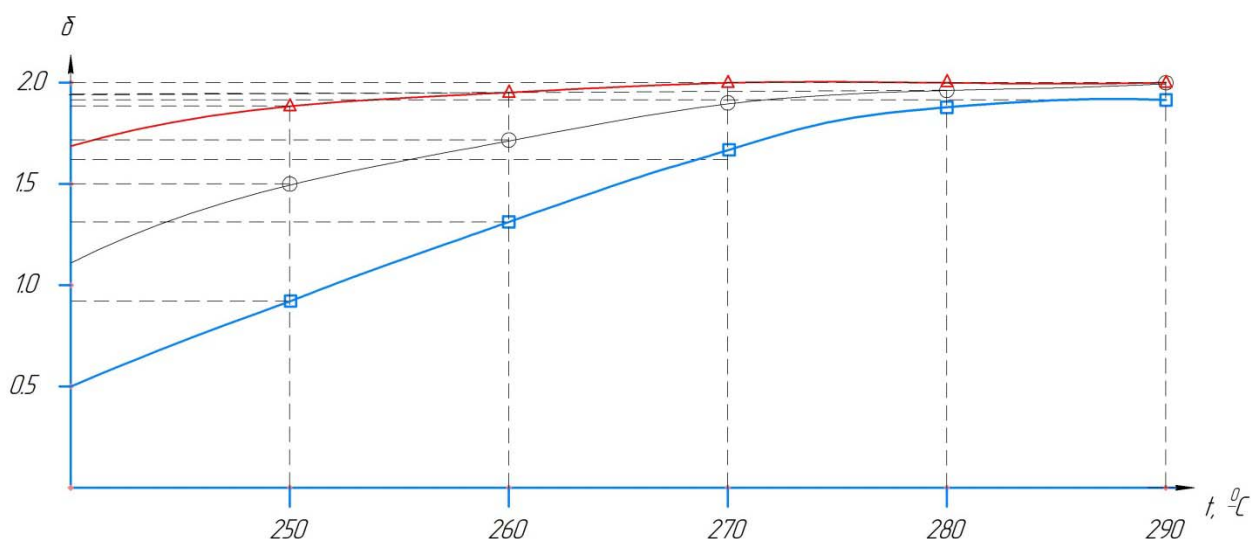
1-расмда қўйманинг чўзилишдаги мустаҳкамлик чегарасининг моделни қолипдан куйдириб чиқариш ҳароратига боғлиқлик графиги келтирилган.



1-расм. Қўйманинг чўзилишдаги мустаҳкамлик чегарасининг моделни қолипдан куйдириб чиқариш ҳароратига боғлиқлик графиги:

- △ - моделни ацетон билан ишлов бергандан кейинги ҳолати;
- - моделни қум қоғоз билан ишлов берилганидан кейинги ҳолати;
- - моделни қолиплашдан олдин ишлов берилмагани ҳолати.

Олиб борилган тадқиқот натижаларига кўра моделни қолипдан куйдириб олиш температурасининг ортиб бориши моделга ишлов бериш усулининг чўзилишдаги мустаҳкамлик чегарасига таъсир қилмаслигига сабаб бўларкан. Бунга қолип ичидаги моделнинг 290 °С ҳароратга етганида ишлов бериш усулининг фарқи қолмаслиги асосида, ресурстежамкор технология яратиш имкони туғилади.



2-расм. Қўйманинг зарбий қовушқоқлигининг моделни қолипдан куйдириб чиқариш ҳароратига боғлиқлик графиги:

- △ - моделни ацетон билан ишлов бергандан кейинги ҳолати;
- - моделни қум қоғоз билан ишлов берилганидан кейинги ҳолати;
- - моделни қолиплашдан олдин ишлов берилмагани ҳолати.

2-расмда қўйманинг зарбий қовушқоқлик кўрсаткичининг моделни қолипдан қўйдириб чиқариш ҳароратига боғлиқлик графиги келтирилган. Олиб борилган тадқиқот натижаларига кўра моделни қолипдан қўйдириб олиш температурасининг ортиб бориши моделга ишлов бериш усулининг қўйма зарбий қовушқоқлигига таъсири кам бўларкан. Бунга қолип ичидаги моделнинг 270 °C ҳароратга етганида ишлов бериш усулининг фарқи камайиши асосида, қўйма тайёрлаш технологиясини такомиллаштириш имкони яратилади.

2-жадвал

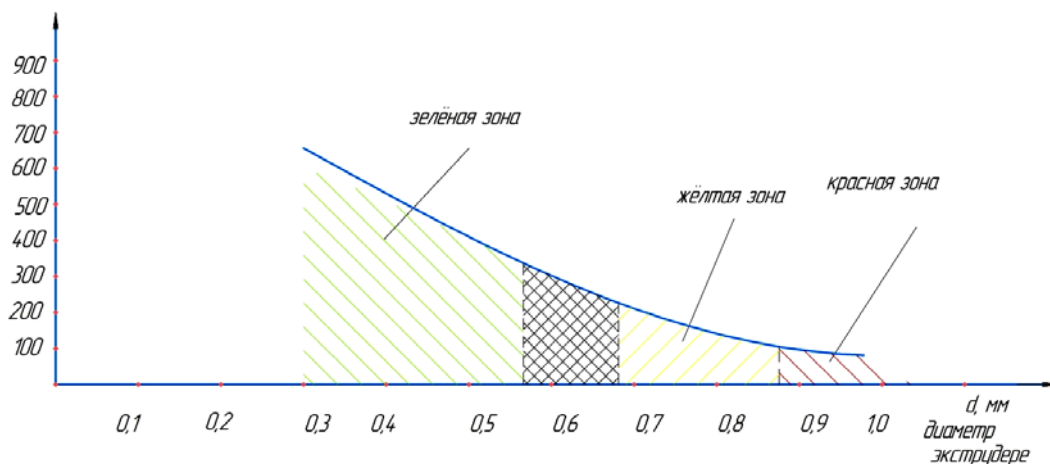
Қўйма юзасини тадқиқ қилиш натижалари

№	Қиздириш печида қолипни қиздириш вақти (соат)	Қолипнинг ички юзаси сифати	Қўйма юзасининг сифати	Қўллаш учун тавсиялар
1	1	Қониқарли	Юқори	Тавсия этилади
2	1,5	Қониқарли	Юқори	Тавсия этилади
3	2	Юқори	Паст	Тавсия этилмайди
4	3	Юқори	Қониқарли	Қўймага қўйиладиган талабга мувофиқ тавсия қилинади

Диссертациянинг «Сифатли қўйма маҳсулотлар олиш учун 3D технологияни такомиллаштириш» деб номланган тўртинчи боби 3D асосида сифатли қўймалар олиш учун технологияни такомиллаштиришга бағишланган.

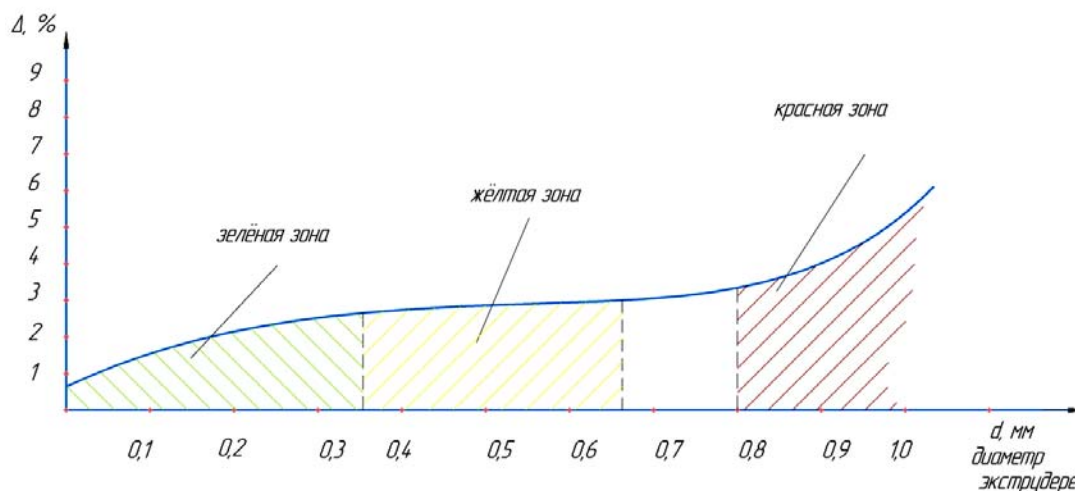
Ишлаб чиқариш унумдорлиги ва маҳсулот таннархини рақобатбардошлиги ишлаб чиқариш корхоналари олдида турган асосий вазифалардан бири ҳисобланади. 3D асосида қўйма маҳсулотлар олишда унумдорликни белгиловчи асосий кўрсаткичлардан бири бу экструдернинг ҳаракат тезлиги ва шу вақт бирлигида ётқизилган материал хажми билан белгиланади. Материалнинг ётқизилиш хажми эса экструдер сопосининг диаметрига боғлиқ. 3D асосида қўйма маҳсулотлар олишда сифатли қўймалар олиш учун технологияни такомиллаштириш тадқиқотлари экструдер диаметрини оптималлашга қаратилди. Ётқизиладиган материалнинг қовушқоқлигига боғлиқ равишда экструдернинг оптимал диаметрини аниқлаш учун модел тайёрлаш учун олинган PLA материални 210-230 °C ораликдаги ҳароратларда қўйилди. Бунда тайёрланаётган моделнинг сифат кўрсаткичларига таркибидаги нометал ва газ қўшимчаларнинг миқдорига боғлиқ равишда ўзгаришини аниқлаш учун сифатнинг Харрингтон миқдор кўрсаткичи киритилди. Харрингтоннинг сифат кўрсаткичига модел

таркибидаги газ ғовакларининг ўртача миқдори, нометал қўшимчаларнинг ўртача миқдори, геометрик ўлчамдан оғишнинг ўртача миқдори қабул қилиб олинган. 3-расмда экструдер диаметрининг ўлчамларига боғлиқ равишда олинаётган ҳар 1000 та моделга тўғри келадиган сифатли маҳсулот миқдорининг ўзгариш графиги келтирилган.



3-расм. Экструдер диаметрининг ўлчамларига боғлиқ равишда олинаётган ҳар 1000 та моделга тўғри келадиган сифатли маҳсулот миқдорининг ўзгариш графиги.

Графикдан кўришиб турибдики, экструдер диаметрининг ортиши сифат кўрсаткичларига салбий таъсир кўрсатади. Экструдер диаметрининг 0,9-1 мм гача ортиши, сифатли маҳсулотнинг салмоғини 90 % гача пасайтириб юборади, яъни 10 % га яқин маҳсулот талаб даражасида ишлаб чиқилади. Лекин шу билан бир қаторда иш унумдорлигига диаметрнинг ортиши ижобий таъсир кўрсатади. Ҳар иккала кўрсаткичларни солиштирган ҳолда экструдернинг оптимал диаметрини аниқлаш учун экструдер диаметрининг маҳсулот геометрик ўлчамларининг берилган ўлчамларга нисбатан оғиш даражасига таъсири ўрганилди. 4-расмда экструдер диаметрининг маҳсулот берилган геометрик ўлчамларидан оғиш даражасига боғлиқлик графиги келтирилган.

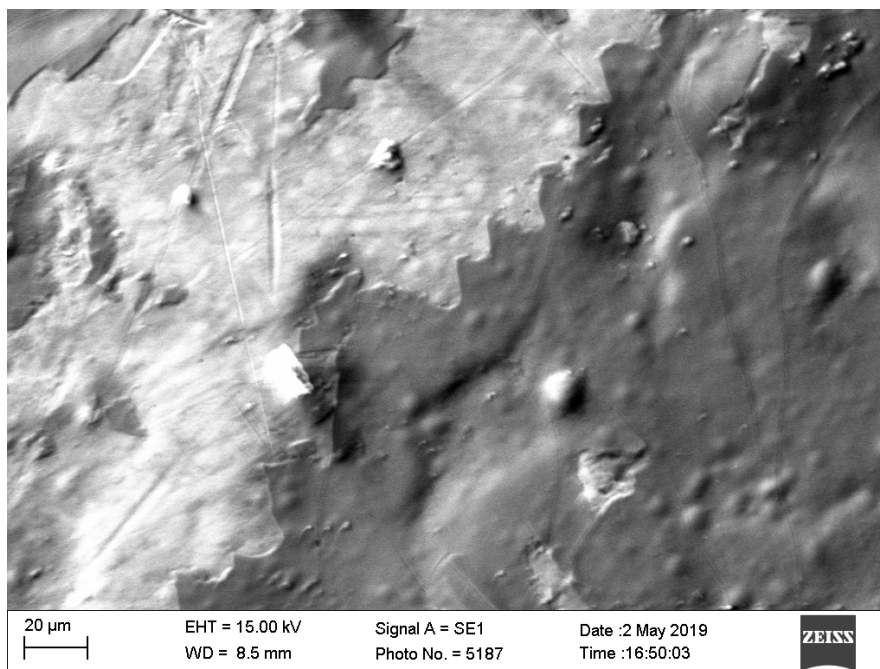


4-расм. Экструдер диаметрининг маҳсулот берилган геометрик ўлчамларидан оғиш даражасига боғлиқлик графиги.

Графикдан кўриниб турибдики, геометрик ўлчамларининг берилган ўлчамлардан оғиш даражаси тўғри чизиқли эмас. Экструдер диаметри 0,3 да 0,8 мм бўлган оралиқда бу кўрсаткичлар деярли ўзгармайди. Бунга сабаб экструдер диаметри 0,3 мм дан 0.8 мм гача бўлган оралиқда материалнинг суюқланиши ва соплодан чиқарилиши орасидаги мутаносиблик деярли бир хил эканида бўлиши мумкин. Диаметр 0,8 дан ортганда бу мутаносиблик бузилиб, материалнинг қизиш ҳарорати ётқизиладиган қатлам тезлигига мос келмаслиги ва оқибатда ашё етарли суюқланмасдан, таркибида бир хиллик бўлмаслиги сабабли юзага келиши эҳтимоли мавжуд. Экструдер диаметрининг ўлчамларини оптималлаш учун иккала график кўрсаткичларини таққослаб қуйидаги хулосани қиламиз – қуймакорлик моделларини тайёрлашда сифатли махсулот олиш ва иш унумдорлигини таъминлаш учун экструдер диаметрини 0,55-0,65 мм оралиғида танлаб олиш афзал ҳисобланади.

Ишлаб чиқариш шароитида 3D асосида олинган моделни қўллаган ҳолда ишлаб чиқилган қуйма махсулотларининг сифатини тадқиқ қилиш мақсадида икки хил пўлат ва чўян шихталаридан фойдаланилди. Олинган қуймаларнинг структураси ўрганилганда пўлат таркибида модел материалининг қолдик излари ва иссиқлик алмашинувининг ўзгариши ҳисобига қуйма юзасида ҳосил бўлган нотекисликлар бўлиши кузатилган.

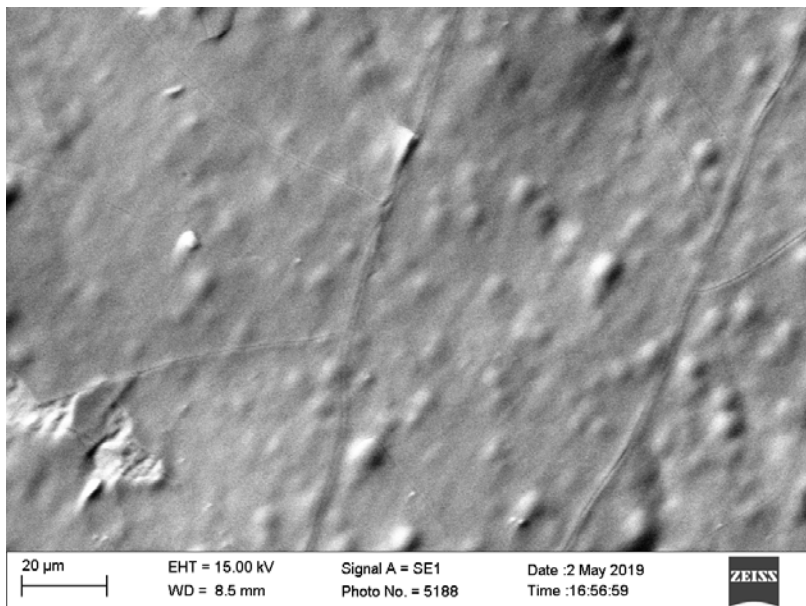
5- расмда пўлат қуймасининг юзасида ҳосил бўлган нотекисликларнинг изи келтирилган. Бунда 23 – ва 24- спектрлардан кимёвий таркиб олинган бўлиб, қуйма юзасининг сифати ўзаро мутаносиб экани аниқланган.



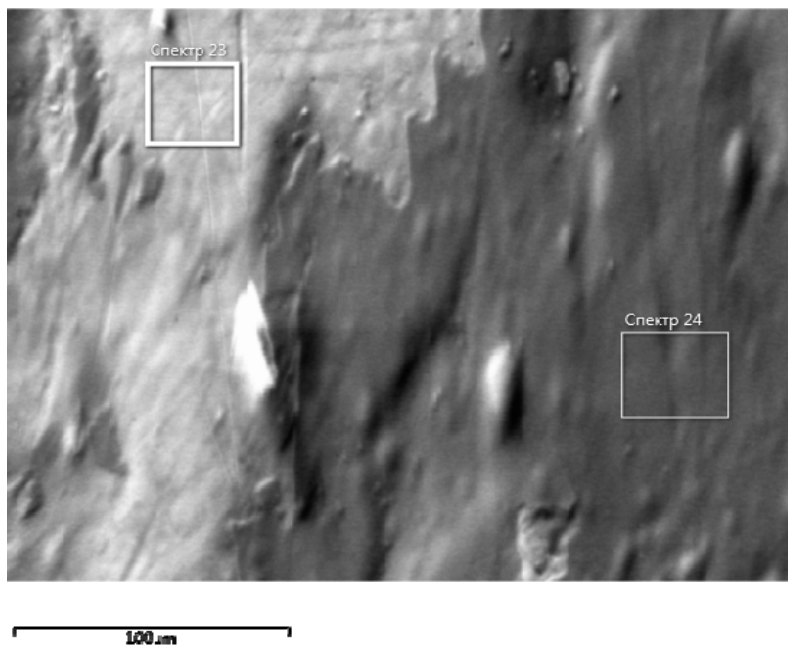
5- расм. Пўлат қуймасининг юзасида ҳосил бўлган нотекисликлар.

Моделни қолип ичидан ажратмаган ҳолда метал қуйиш натижасида қуйма махсулотлари олишда қуйма юзасида газ пуфакчалари ҳосил бўлиши кузатилди. 6-расмда қуйма деталининг юзасида ҳосил бўладиган газ ғоваклари келтирилган бўлиб, газ пуфакчаларининг ёрилмаган қисмларида

қабарикликлар кузатилади. Лекин бу нуқсонлар бир марталик қолиплардан қуйма махсулотлар олишдаги нуқсонларга нисбатан 20-25 % га кам экани кузатилди. Бу модел материални ёниш натижасида ажралган ёниш махсулотларининг метал таркибига сингиши натижасида келиб чиқиш эҳтимоли мавжудлигидандир. 7- расмда пўлат қуймасининг моделга ишлов берилганидан кейинги ҳолатдаги структураси келтирилган бўлиб, ушбу ишлов берилганидан кейинги юзасидаги нотекисликларни камайгани кузатилади.



6-расм. Қуйма деталининг юзасида ҳосил бўладиган газ ғоваклари.



7- расм. Пўлат қуймасининг моделга ишлов берилганидан кейинги ҳолатдаги структураси.

5. Қуймакорлик моделини қуймакорлик қолипдан нуқсонсиз ажратиб олиш режими ишлаб чиқилди. Бу ишлаб чиқиладиган қуймалардаги нуқсонларни камайтириш ҳисобига маҳсулот таннархини камайтиришга хизмат қилади.

6. 3D технология асосида олинган модели бир марталик қуймакорлик қолипларга суюқ металл қуйиш технологияси ишлаб чиқилди. Бу қуйма маҳсулотларини олишда суюқ металлнинг соғиб қолиши оқибатидаги энергия сарфини камайтириш учун хизмат қилади.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.28.02.2018.Т.03.04 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ И НАЦИОНАЛЬНОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ УЗБЕКИСТАНА**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

АБДУРАХМОНОВ ХУСНИДДИН ЗАКИРХАНОВИЧ

**ПОЛУЧЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ОТЛИВОК ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ НА ОСНОВЕ 3Д ПЕЧАТИ**

**05.02.01 – Материаловедение в машиностроении. Литейное производство.
Термическая обработка и обработка металлов давлением. Металлургия чёрных,
цветных и редких металлов (Литейное производство и обработка металлов)**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент- 2019

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за В2018.4.PhD/Т716.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете.

Автореферат диссертации на двух языках (узбекский, русский и английский (резюме)) размещен на веб-странице (www.tdtu.uz) и информационно-образовательном портале «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель: **Тураходжаев Нодир Джахонгирович**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Абдуллаев Фатхулла Сагдуллаевич**
доктор технических наук, профессор

Атажанов Гапур Латипович
кандидат технических наук, доцент

Ведущая организация: **Ташкентский институт инженеров
железнодорожного транспорта**

Защита диссертации состоится «06» декабря 2019 года в 13⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.28.02.2018.Т.03.04. при Ташкентском государственном техническом университете и Национальном университете Узбекистана. (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел./ факс:(99871)227-10-32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz)

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрирована за № 119). (Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.:(99871-227-10-32.)

Автореферат диссертации разослан «22» ноября 2019 года.
(реестр протокола рассылки № 120 от «22» ноября 2019 года).

К.А.Каримов

Председатель научного совета по присуждению
ученых степеней, д.т.н., профессор

Р.У.Шукуров

Ученый секретарь научного совета по присуждению
ученых степеней, д.т.н., профессор

Ф.С.Абдуллаев

Председатель научного семинара при научном совете
по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии по техническим наукам (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире на сегодняшний день разработка технологий по ресурсо-и энергосбережению является актуальной задачей. Этот вопрос актуален не только с экономической точки зрения, но и с экологической стороной. В связи с этим обеспечение ресурсосбережения, в частности при изготовлении литых заготовок, которые связаны с большими потерями металла и энергоресурсов, является одной из важных задач. В этом направлении во многих развитых странах мира, включая Японию, США, Англию, Германию, Швецию и Россию уделяется особое внимание снижению потерь ресурсов и энергии при изготовлении литых заготовок методом 3D печати.

Во всем мире проводятся целевые научно-исследовательские работы по созданию научных основ усовершенствования технологий получения литых заготовок, разработке аддитивных технологий получения малоотходных литых моделей и форм. В этом направлении приобретает особое значение проведение научных исследований как обеспечение эффективной технологии получения послойной отливки методом 3D печати, обеспечение ресурсосбережения и уменьшение выбросов в атмосферу.

В Республике Узбекистан ведутся работы по усовершенствованию технологии получения литых заготовок, позволяющих снизить потери металла и сплавов, обеспечив тем самым ресурсосбережение, а также по разработке новых конструкций для аддитивных 3D технологий, с целью повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции. В том числе, проводятся объемные исследования как повышение эффективности получения литых заготовок, применение новых 3D технологий с применением различного расходного материала. Ввиду этого, необходимо повысить приоритет проводимых научно-исследовательских работ по усовершенствованию технологий получения литых заготовок, повышению ресурсосбережения металла и снижению энергетических затрат.

В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан в 2017-2021 годах определены задачи, включая «... укрепление макроэкономической стабильности и сохранение высоких темпов роста экономики, повышение ее конкурентоспособности, ... сокращение энергоемкости и ресурсоемкости экономики, широкое внедрение в производство ресурсо-и энергосберегающих технологий»¹. Для выполнения данных задач, в частности для обеспечения ресурсосбережения при получении литых заготовок, первоначально важной задачей считается разработка новой технологии получения литья с применением 3D печати и конструкции 3D принтеров, позволяющей использовать эту технологию.

¹ №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», в Постановлениях № ПП-2698 от 26 декабря 2016 года «О мерах по дальнейшей реализации перспективных проектов локализации производства готовых видов продукции, комплектующих изделий и материалов на 2017-2019 годы», № ПП-3117 от 7 июля 2017 года «О мерах по дальнейшему развитию научно-технической базы в сфере сельскохозяйственного машиностроения», № ПП-3682 от 27 апреля 2018 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения инновационных идей, технологий и проектов», Выступление Президента Республики Узбекистан Ш.М.Мирзиёева от 24 мая 2019 года в Национальном университете Узбекистана с представителями науки и образования протокол № 21 пункт 64, а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования основным приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан.

Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики II. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение».

Степень изученности проблемы. Ведущие учёные мира разработали различные технологии получения литых заготовок с применением аддитивных технологий и конструкции устройств для осуществления разработанных технологий. Для снижения потерь металла в процессе литья, были разработаны ряд конструкций 3D принтеров и устройств 3D печати.

Учёным Японии разработана система быстрого прототипирования с использованием фотополимеров (доктор Хидео Кодама), учёными Техасского университета и Массачусетского технологического института был разработан метод стереолитографии (Чарльз Халл, Карл Декард, Скотт Крамп). Благодаря этой технологии появилась возможность производить на 3D-принтерах объекты по цифровым проектам (изображениям), была усовершенствована технология лазерной стереолитографии из фотополимеров (SLA). Важнейшей инициативой с точки зрения демократизации 3D-печати стал запущенный доктором Адрианом Боуэром проект RepRap, идея которого – создать 3D-принтер, производящий собственные детали. В 2010 году канадский инженер Джим Кор официально представил легковой автомобиль Urbee, корпус которого полностью выполнен на 3D-принтере. Учёные из Великобритании первыми показали 3D-принтер, на котором можно было напечатать любую фигурку из шоколада или простую шоколадную плитку. Ученый Италии робототехник Энрико Дини создал принтер D-Shape, который может напечатать макет двухэтажного здания, включая комнаты, лестницы, трубы и перегородки. Он использует только песок и неорганический компаунд. Прочность

полученного материала ученые сопоставляют с железобетоном. Учёные Германии разработали селективное лазерное спекание полимерных порошков (Karel Haynz, Martin Kaz). Учёными стран СНГ проведены исследования ресурсосбережению при изготовлении машиностроительных деталей методом 3D печати (Купряков Ю.П., Чахотин В.С., Приходько Ю.И.). Они усовершенствовали конструкцию 3D принтера обеспечив ускоренную подачу расходного материала.

Исследователи Узбекистана разработали технологию изготовления литых заготовок на основе полимеров методом 3D печати UZDELTA конструкции. Разработаны основы послойного нанесения жидкого расплава для снижения потерь металла (Н.Д.Тураходжаев, Б.Тухтамуродов, А.Жуманиёзов, Б.Неъматов, Ж.Ташпулатов).

Несмотря на большие достижения исследований в области получения отливок аддитивными технологиями, существует немало нерешенных проблем. Например, не разработана технология получения литых заготовок с применением литейной модели, полученной 3D печатью, что снижает расход материала в 1,2-1,3 раза. Все исследования проводились в основном в традиционных плавильных агрегатах, исследования проводились с заливкой песчанной или металлической формы. Основные исследовательские работы проводились над физико-химическими процессами между металлом и формой, исследовались процессы кристаллизации металла в форме. Не были исследованы возможности аддитивных технологий, в частности 3D печати для изготовления литейных моделей и форм. Не проводились исследования по изучению процесса изготовления литых заготовок получаемых методом моделирования процесса 3D печатью, а также не учитывались физико-химические воздействия 3D формы на качество получаемых заготовок, что является актуальной и научно-практической задачей получения литых заготовок при минимальных потерях металла.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами высшего образовательного учреждения или научно-исследовательскими институтами, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планами научно-исследовательских работ Ташкентского государственного технического университета в рамках проектов по темам №СФ-2 от 28 ноября 2017 года «Разработка технологии получения литых заготовок методом 3D печати» (2017–2018 гг.).

Цель исследования состоит в разработке технологии получения качественных литых заготовок на основе 3D печати.

Задачи исследования: Определение влияния температурного режима нанесения слоя жидкого расплава на угар мекачество отливки;
Определение влияния состава литейной модели на качество отливки;
Определение степени влияния геометрических параметров модели на качество получаемого литья;
Разработка технологии обеспечивающей ресурсосбережение для получения литейных продукции с применением 3D технологии.

Объектом исследования являются литейные модели полученные на основе 3D технологии и литейные отливки из стали.

Предметом исследования являются процесс изготовления литейной модели полученные методом 3D технологий, исследование влияния её обработки на качество отливки, технология извлечения модели и отливки из формы.

Методы исследований. При изучении количественных показателей химического состава и структуры сплава применялись аттестованные химический метод и спектральный Рентгенографический анализатор Shimadzu, ионный хроматограф Metrohm 850 Professional IC, сканирующий электронный микроскоп Zeiss EVO MA 10/AztecEnergyAdvanced X-Act маркали (SEM-EDX).

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработана технология применения модели изготовленного с помощью 3D печати для получения литых изделий;

разработан график зависимости между скоростью и диаметром экструдера при изготовлении изделий на основе 3D технологии;

разработан график зависимости между свойствами расходного материала и диаметром экструдера при изготовлении изделий на основе 3D технологии;

разработана технология изготовления разовой формы при производстве машиностроительных деталей;

разработан режим извлечения литейной модели из литейной формы без брака;

разработана технология заливки жидкого металла в одноразовые формы с моделью полученной на основе 3D технологии.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

обеспечение ресурсосбережения при применении 3D технологий в изготовлении разовой формы;

снижение количества брака на 12-14 % при извлечении литейной модели из литейной формы;

повышение механических свойств отливок при заливке в разовые литейные формы с моделью полученной на основе 3D технологии.

Достоверность результатов исследования основывается на данных статистической обработки результатов множества экспериментальных исследований получения отливок на основе 3D печати и математическим моделированием переработки полученных результатов, показателями физико-механических и эксплуатационных свойств с применением современных техники и технологии, а также сравнением сопоставлением результатов с применением физико-математическими формулами.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования заключается в определении степени зависимости между режимом работы экструдера при

нагреве материала и диаметра на основе для получения машиностроительных деталей на основе 3D печати.

Практическая значимость результатов исследования заключается в повышении ресурсосбережения на 8-10% при изготовлении качественных машиностроительных деталей на основе 3D технологий и применении режимов обеспечивающих применения этой технологии.

Внедрение результатов исследования.

На основании полученных результатов по разработке технологии получения качественных отливок:

разработанная технология получения литейных моделей методом 3D печати внедрена на предприятии «Навоийский машиностроительный завод» (Справка №02-06-07/4487 ГП «Наваийский ГМК» от 9.04.2019). Применение разработанной технологии позволило повысить точность геометрических параметров модели при её изготовлении на 15-20 %.

разработанная технология изготовления разовой формы для получения машиностроительных деталей внедрена на предприятии «Навоийский машиностроительный завод» (Справка №02-06-07/4487 ГП «Наваийский ГМК» от 9.04.2019). Применение разработанной технологии позволило увеличить производительность изготовления отливок на 10-12%.

разработанная технология извлечения модели из разовой формы внедрена на предприятии «Навоийский машиностроительный завод» (Справка №02-06-07/4487 ГП «Наваийский ГМК» от 9.04.2019). Применение разработанной технологии позволило снизить количество брака на 8-10%.

разработанная технология заливки жидкого расплава в разовые формы внедрена на предприятии «Навоийский машиностроительный завод» (Справка №02-06-07/4487 ГП «Наваийский ГМК» от 9.04.2019). Применение разработанной технологии позволило повысить качество отливок за счет снижения шероховатости на 10-15 %.

Апробация результатов исследования. Основные положения диссертации докладывались и получили одобрение в 16, в том числе на 9-ти Международных и 7-х республиканских конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано всего 36 научных работ, в том числе 2 статьи в зарубежных журналах и 7 статей в республиканских журналах, рекомендованных опубликованию основных научных результатов диссертаций доктора философии (PhD) ВАК Республики Узбекистан.

Структура и объем диссертации. Структура диссертации состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы, приложений. Объем диссертации составляет 120 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и востребованность исследования, сформулированы цели и задачи исследования, выявлены объект и предмет исследования, показано соответствие исследования с

приоритетными направлениями развития науки и технологии республики, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована надежность полученных результатов, раскрыты их научные и практические значения, приведены сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Анализ современного состояния получения отливок методом 3D печати»** приводятся результаты исследований в области 3D печати. На сегодняшний день получению качественных машиностроительных деталей уделяется особое внимание. В научно-исследовательских институтах и учреждениях ведутся ряд исследовательских работ по усовершенствованию технологии плавки, заливки и обработки для получения литейных изделий. Процесс изготовления литых деталей протекает в сложных условиях труда и сопровождается выделением большого количества тепла и химических веществ. Кроме того, для получения формы детали, необходимо изготовить модель отливки, процесс которого занимает большое количество времени и капитальных затрат. Для снижения вышеуказанных затрат ведутся исследовательские работы по нескольким направлениям. Одним из этих направлений является разработка аддитивных технологий по изготовлению литейной формы или модели. В последнее время изготовление машиностроительных деталей методом 3D печати получило широкое применение. Однако 3D метод изготовления машиностроительных деталей имеет свои недостатки, которые в первую очередь связаны с дороговизной процесса. Получение качественных литых заготовок посредством 3D печати не самой детали, а её модели может быть довольно перспективным и эффективным. В традиционном процессе литья мастер-модель можно изготовить вручную или с помощью механической обработки. Вручную некоторые формы изготовить невозможно. Для изготовления мастер-моделей используют пятиосевые обрабатывающие центры с ЧПУ, что значительно увеличивает возможное разнообразие форм, но и стоимость такой восковки или мастер-модели заметно увеличивается. Такой путь получения отливки актуален для массового производства, в малой и средней серии он, чаще всего, экономически нецелесообразен — тут применение 3D-печати более рационально.

Появление первых устройств-предвестников 3D-принтеров относится к началу 1980-х годов, когда доктор Хидео Кодама в Японии разработал систему быстрого прототипирования с использованием фотополимеров. Принцип работы аппаратов был таким же, как и в современных 3D-принтерах – распечатанный объект создавался послойно в соответствии с моделью. В начале 1990-х годов компания Чарльза Халла, 3D Systems Corporation (которая и сегодня является одним из лидеров отрасли) начала производство аппаратов, работающих по технологии лазерной стереолитографии из фотополимеров (SLA). В то же время, стартап DTM получил патент на изобретенную Карлом Декардом (из Техасского

университета) технологию селективного лазерного спекания (SLS), где вместо жидкого материала воздействию лазера подвергался порошок. Третья технология, моделирование методом наплавления (FDM), была разработана в тот период под руководством Скотта Крампа в компании Stratasys и используется до сих пор, в основном, в базовых моделях 3D-принтеров. Разумеется, самые первые аппараты не были совершенными, при затвердевании материала объект часто искривлялся. Несмотря на свои недостатки и высокую стоимость, такие технологии, как стереолитография, безусловно, обладают огромным потенциалом, который продолжает исследоваться и сейчас.

Во второй главе диссертации **«Разработка методики исследования»** описан метод определения структуры и анализ образцов производили методом рентгеноспектрального микроанализа (микрорентгеноспектральный анализ), позволяющая с помощью электронного микроскопа, а также химический состав образцов в произвольно выбранном участке микроскопических размеров.

Суть методики заключается в том, что исследуемый образец помещается в вакуумную камеру растрового или просвечивающего электронного микроскопа и облучается сфокусированным направленным пучком электронов высокой энергии. Пучок электронов взаимодействует с приповерхностным участком образца глубиной обычно менее нескольких микрон. Объем зоны взаимодействия зависит как от ускоряющего напряжения, так и от плотности материала образца и для массивной мишени находится в диапазоне от первых десятых долей до десяти кубических микрон. Генерация рентгеновского излучения является результатом неупругого взаимодействия между электронами и образцом. Рентгеновское излучение появляется в результате двух главных процессов: эмиссии характеристического излучения и эмиссии фонового, или тормозного излучения.

Электрон высокой энергии взаимодействует с атомом, он может выбить один из электронов внутренней электронной оболочки. В результате атом перейдет в ионизированное, или возбужденное состояние, с вакансией в оболочке. Переход в нормальное состояние происходит, когда один из электронов внешней оболочки заполняет данную вакансию, что сопровождается изменением его энергии, а величина изменения определяется уникальной для каждого химического элемента электронной структурой атома. Эта т.н. «характеристическая» энергия может высвободиться из атома двумя способами. Один из них – эмиссия рентгеновского фотона с характеристической энергией, специфической для каждого перехода и, соответственно, для определенного элемента. Второй способ – высвобождение т.н. электронов Оже.

Эмиссия фотонов рентгеновского излучения фона — тормозного излучения – проявляется, когда электрон падающего пучка испытывает торможение в электрическом поле атома. Электроны, взаимодействуя с

отдельными атомами мишени, теряют разное количество энергии. Энергия таких фотонов имеет непрерывное распределение от нуля до величины ускоряющего напряжения электронного зонда, т.е. испускаемый при этом спектр имеет непрерывный характер. Максимальная энергия фотонов тормозного излучения соответствует энергии электронов пучка, полностью потерявших энергию в результате взаимодействия с полем атома. Значение этой энергии называется «пределом Дуана-Ханта». Если образец не имеет поверхностного заряда, предел Дуана-Ханта равен энергии падающего пучка.

Рентгеновские фотоны обладают свойствами как частиц, так и волн, и их свойства можно охарактеризовать в терминах энергий или волн. Для рентгеноспектрального анализа можно использовать энергодисперсионный спектрометр (ЭДС), который сортирует фотоны по их энергии, либо волнодисперсионный спектрометр (ВДС), использующий принцип разделения рентгеновского излучения по длинам волн.

Третья глава диссертации «**Разработка технологии получения литых заготовок методом 3D печати**» посвящена разработке технологии ресурсосбережения при изготовлении литых заготовок методом 3D печати.

Объектом исследований является 3D принтер «DELTA» модели. Для определения эффективности применения 3D печати использовали методику расчета экономической целесообразности в зависимости от капитальных затрат. В лаборатории кафедры «Литейные технологии» Ташкентского государственного технического университета и в лаборатории «Машиностроение и материаловедение» Узбекско-Японского молодёжного центра инноваций проводили исследовательские работы, для изготовления литых заготовок по газифицируемым моделям. Для этой цели были установлены 3D принтеры конструкции FDM — струйная технология изготовления изделий. При использовании этой технологии работа принтера происходит непосредственно от пластиковых катушек, заправленных в экструдер. Основным принципом работы этой конструкции является расплавление пластикового прута, образование из этого прута жидкой фазы и нанесение расплавленного материала на платформу с заданными параметрами. Для начальных исследований применяли 3D принтер типа CubeX, а во втором этапе применяли принтер типа CubeXDuo. В качестве расходного материала применялись

- ABS — бесцветный ударопрочный термопластичный материал, используемый для печати простых прототипов. Этот материал легко поддается постобработке, отлично полируется парами ацетона.

- PLA — органический пластик, имеющий низкую температуру плавления и высокие технические характеристики относительно удержания формы модели в процессе печати.

Методом 3D печати изготавливали модель отливки, которую формовали с помощью песчанно-глинистых смесей в разовые формы. Заливку расплавленного сплава производили в неразъемную форму, не вынимая модель. Выбивку отливки производили методом встряхивания вручную.

Контроль качества получаемых отливок производили визуально и замером основных геометрических параметров. По первому варианту исследований, при котором расплав металла заливался непосредственно в форму содержащий модель, 8 из 10 отливок получились с браком по недоливу. Остальные 2 из 10 получились с большим количеством неметаллических включений. Литая заготовка хоть и имела полную конфигурацию модели, имела низкие показатели по механическим свойствам. Это видимо, связано с образованием большого количества газов при выгорании полимерной модели. Применение дополнительных отверстий и литниковой системы не дали ожидаемого эффекта. Во второй стадии эксперимента получаемая на принтере модель заливалась материалом формы, из которой затем выжигалась в прокалочной печи. При выжигании выделялись горючие газы, которые необходимо было нейтрализовать. Так как существует опасность засорения формы золой выгоревшей модели, материал для изготовления формы подбирали с малой зольностью. В таблице 1 приведены результаты исследований по определению эффективности применения 3Д печати для изготовления моделей. Следует отметить, что температура обработки в прокалочной печи влияет и на прочность формы.

Таблица 1

Результаты исследований по определению эффективности применения 3Д печати для изготовления моделей

№	Метод изготовления моделей	Исходный материал для моделей	Необходимое время на изготовление моделей объёмом 1000 см ³ (в час)	Примечание
1	Традиционный (ручное)	Гипс	8	Необходимость в изготовлении промодели
2	Традиционное (автоматизированное)	Древесина	3	Необходимость дополнительной шлифовки
3	3Д печать	ABS	2	Имеются отклонения по габаритным размерам на 1,5-2 %
4	3Д печать	PLA	2	Высокое качество

Так, например, при выдержке формы в прокалочной печи для выжигания в течение 1 часа, прочность песчанно-глинистой формы увеличилась на 10-12 %, а при выдержке в печи в течение 2 часов, прочность формы увеличилась на 30-35 %. Это, видимо связано со спеканием формовочной смеси как с поверхностной стороны и образованием на

внутренней поверхности формы облицовочной корки. Образовавшаяся внутренняя корка имеет двойкий эффект. С одной стороны, она обеспечивает гладкую поверхность, а с другой стороны при заливке формы жидким расплавом эта корка, вступая в химическую реакцию, загрязняет отливку неметаллическими включениями. В таблице 2 приведены результаты исследований по изучению поверхности отливок.

Как видно из приведённых данных, для изготовления моделей эффективным является метод, основанный на 3D печати. В то же время следует отметить, что для моделей, изготавливаемых на основе 3D печати применение в качестве материала PLA является наиболее эффективным.

Таблица 2

Результаты исследований по изучению поверхности отливок

№	Выдержка формы в прокалочной печи (час)	Качество внутренней поверхности формы	Качество поверхности отливки	Рекомендации к применению
1	1	Удовлетворительное	Высокое	Рекомендуется
2	1,5	Удовлетворительное	Высокое	Рекомендуется
3	2	Высокое	Низкое	Не рекомендуется
4	3	Высокое	Удовлетворительное	Рекомендуется в зависимости от требования к отливке

Четвёртая глава диссертации «Усовершенствование технологии 3D печати для получения качественных отливок» посвящена усовершенствованию технологии 3D технологии для получения качественных отливок.

Одним из основных задач стоящих перед производственными предприятиями-это повышение эффективности производства и повышение конкурентоспособности цены продукции. Одним из основных показателей получения литых изделий на основе 3D технологий является скорость движенияэкструдера и бьёмом напечатанного материала. В свою очередь объём напечатанной продукции зависит от диаметра сопла экструдера. Для усовершенствования технологии получения качественных отливок на основе 3D технологий уделили внимание на оптимизацию диаметра экструдера. Для определения оптимального диаметра экструдера в зависимости от вязкости печатного материала, нанесение материала из PLA производили в интервале температур 210-230 °С. Для определения влияния газовых и неметаллических включений на качество изготавливаемой модели, применили показатель качества Харрингтона. При определении критерия качества Харрингтона приняли среднее количество газовых пор, количества неметаллических включений и отклонение от заданных размеров модели. На

3-рисунке приводится график изменения количества качественной продукции на каждые 1000 моделей в зависимости от диаметра экструдера.

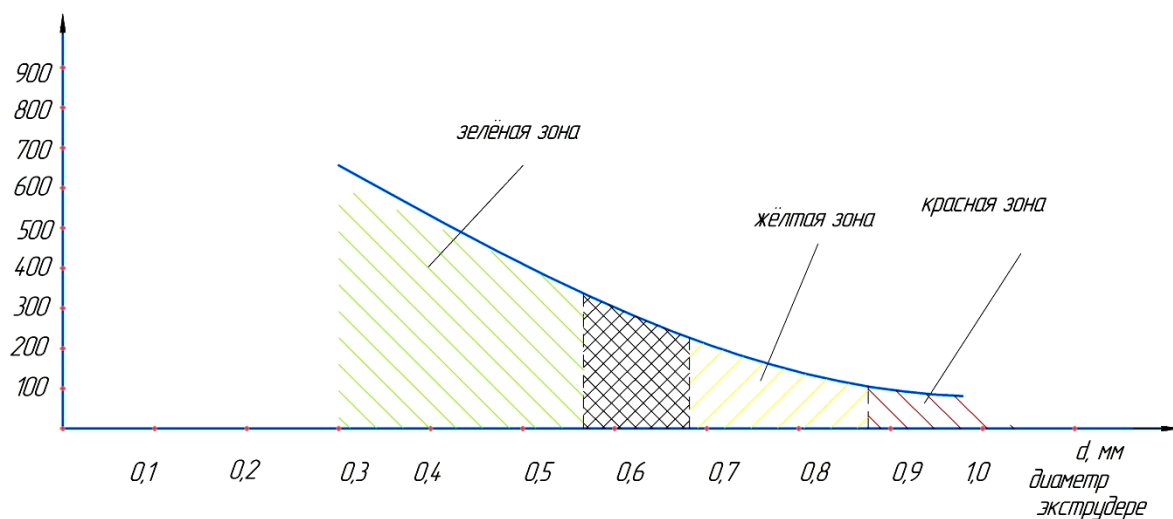


Рис. 3. График изменения количества качественной продукции на каждые 1000 моделей в зависимости от диаметра экструдера.

Как видно из графика, увеличение диаметра экструдера отрицательно сказывается на качестве изделия. Увеличение диаметра экструдера 0,9-1 мм, снижает количество качественной продукции на 90 %, то есть только 10 % отливок получаются в соответствии с требованиями. Однако, вместе с тем, увеличение диаметра экструдера позволяет увеличить производительность. Для определения оптимального диаметра экструдера в сравнении обеих показателей, исследовали влияние диаметра экструдера на отклонения геометрических параметров изделий от заданных параметров. На рисунке 4 приведён график зависимости отклонения геометрических параметров от диаметра экструдера.

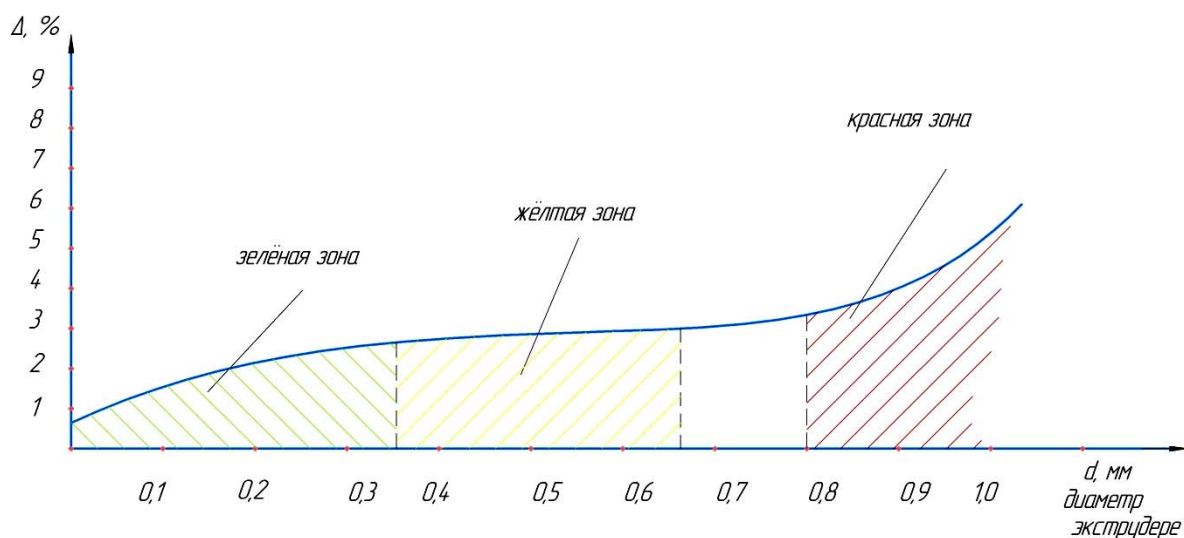


Рис. 4. График зависимости отклонения геометрических параметров от диаметра экструдера.

Как видно из графика зависимость отклонений геометрических параметров не прямолинейная. В интервале 0,3 да 0,8 мм диаметра экструдера показатели примерно одинаковы. Этому причиной скорее всего является в практически одинаковом соотношении плавки материала и выхода его из сопла при диаметре от 0,3 мм до 0.8 мм. При увеличении диаметра свыше 0,8 мм это соответствие нарушается и материал не успевая оплавиться наносится на слой не обеспечивая однородность массы. Для оптимизации размеров экструдера сравнивая результаты экспериментов по обеим графикам, делаем следующее заключение – выполнение диаметра экструдера в интервале обеспечивает получение качественных отливок при оптимальной производительности.

Для изучения качества получаемых отливок с применением модели методом 3D технологии приняли шихту двух видов стали и чугуна. При изучении структуры отливок из стали выявили неровности от следов материала модели на поверхности отливок. На рисунке 5 приведены следы неровностей на поверхности стальных отливок. Здесь в спектрах 23 – и 24- брали пробы на химический анализ, что показал соответствие поверхности отливок заданному показателю.

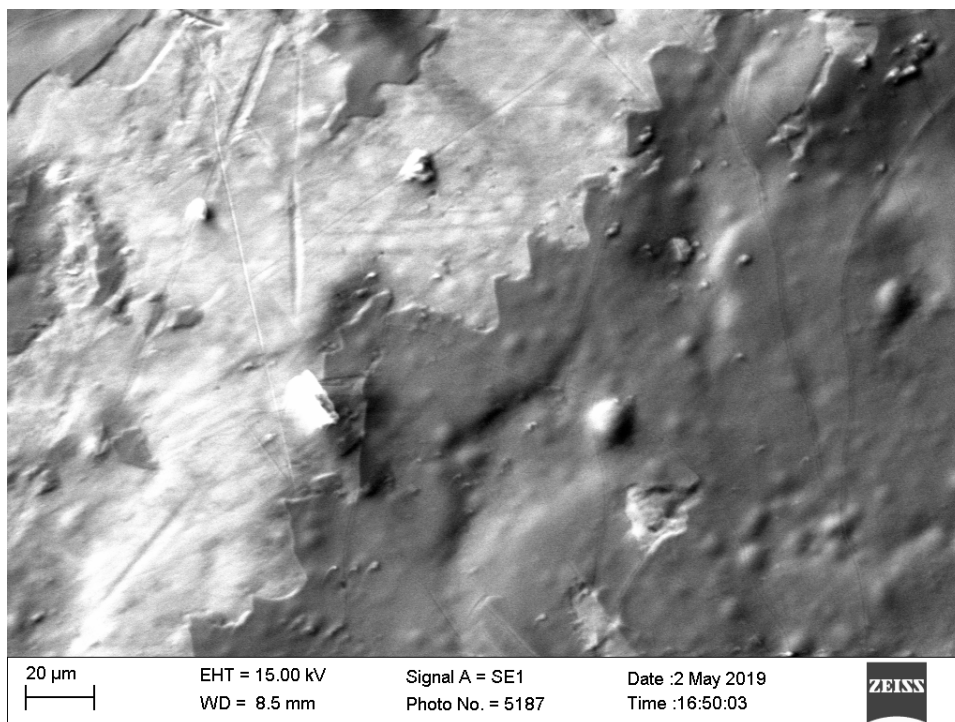


Рис. 5. Образовавшиеся неровности на поверхности стальных отливок.

Наблюдались образования газовых пузырей на поверхности отливок. На рисунке 6 приведена структура детали на поверхности которой образовались газовые пузыри и выпуклости из-за этих газовых включений.

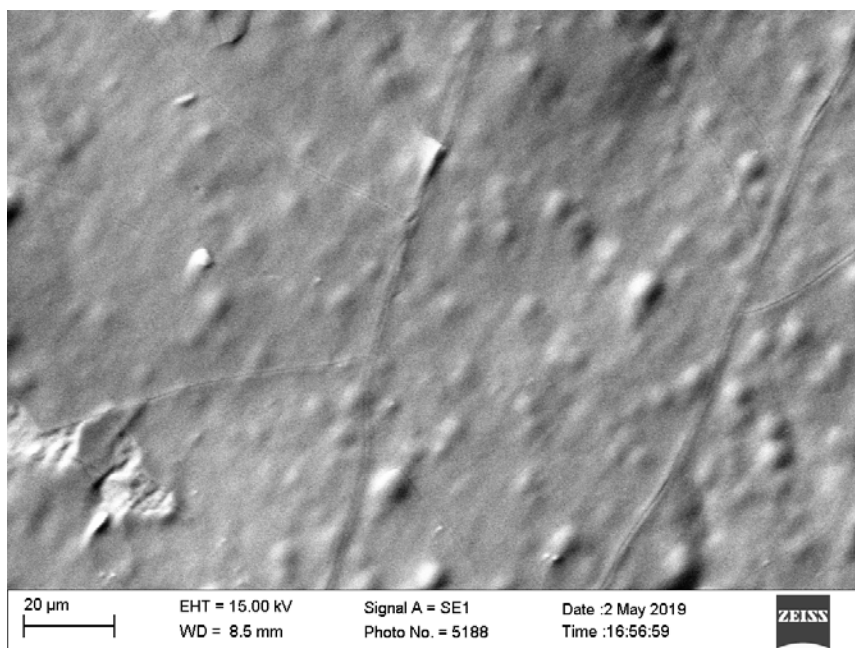


Рис. 6. Структура детали на поверхности которой образовались газовые пузыри и выпуклости из-за этих газовых включений.

Однако, количество этих дефектов на 20-25% меньше, чем у деталей получаемых в одноразовых литейных формах. Видимо это связано с выделением продуктов сгорания материала модели и диффундирования в металл. На рисунке 7 приведена структура стальной отливки, полученной после обработки модели, что способствовало снижению неровностей на поверхности отливок.

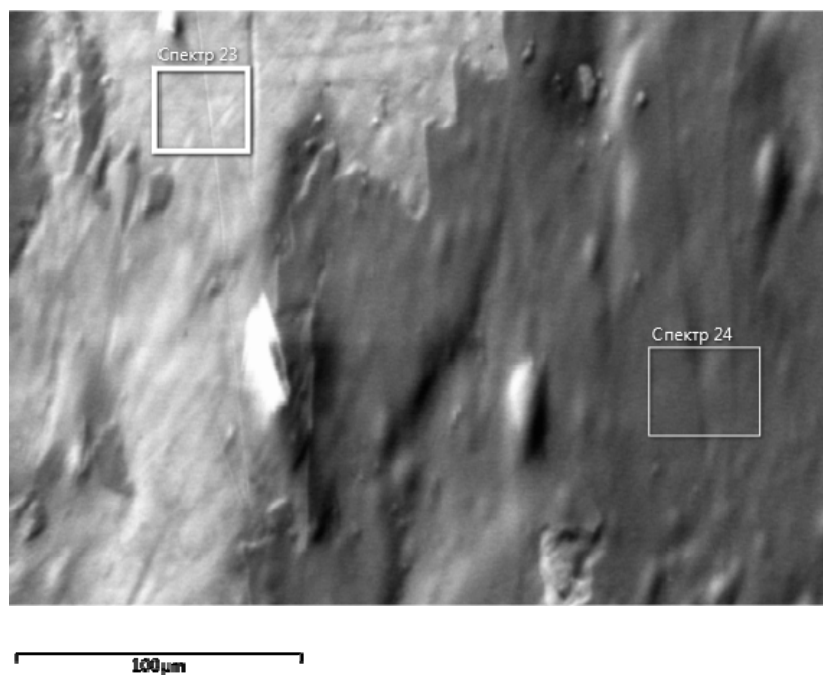


Рис. 7. Структура стальной отливки, полученной после обработки модели.

В результате проведенных исследований выявлено, что наряду с обеспечением высокого качества отливок при применении 3D, но и

себестоимость продукции снижается на 30-35 %. На рисунке 8 приведен график зависимости себестоимости литейной продукции получаемой натоснове 3D технологий в зависимости от массы.

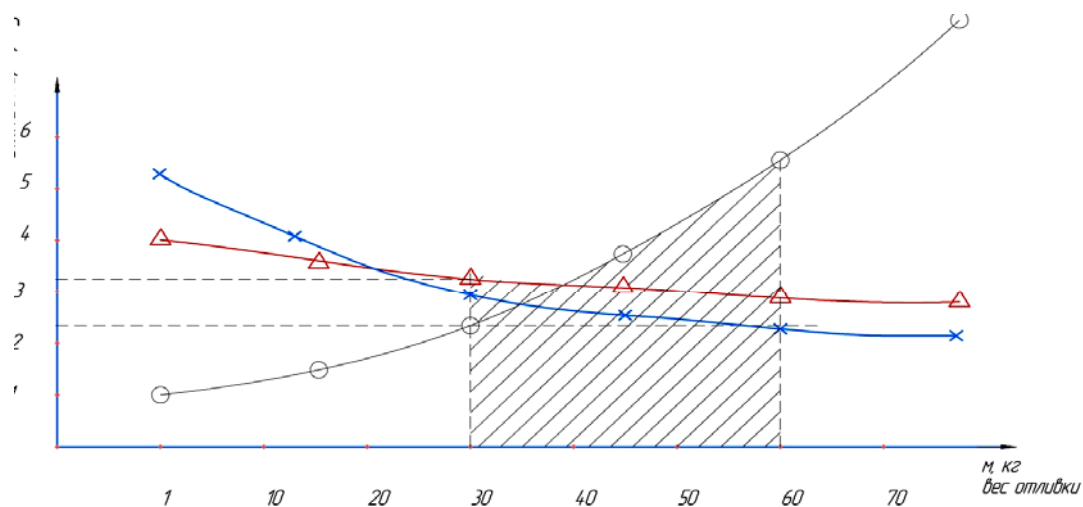


Рис. 8. График зависимости себестоимости литейной продукции получаемой натоснове 3D технологий в зависимости от массы.

ВЫВОДЫ

По результатам проведенных исследований по получению качественных отливок для изготовления машиностроительных деталей на основе 3D печати можно сделать следующие выводы:

1. Разработана технология получения литых изделий при помощи модели получаемой на основе 3D технологий. Это будет способствовать серийному производству продукции на основе программирования.

2. Разработан график зависимости скорости и диаметра экструдера при изготовлении продукции на основе 3D технологий. Это будет способствовать усовершенствованию конструкций 3D принтеров.

3. Разработан график зависимости свойств расходного материала и экструдера при изготовлении продукции на основе 3D технологий. Это будет способствовать усовершенствованию режима нанесения слоя расходного материала.

4. Разработана технология изготовления одноразовой формы для изготовления машиностроительных деталей. Это обеспечит ресурсосбережение при изготовлении разовых форм.

5. Разработан режим бездефектного извлечения модели из литейной формы. Это будет способствовать снижению себестоимости продукции за счёт снижения количества брака.

6. Разработана технология заливки жидкого расплава в разовые формы с моделью полученной на основе 3D технологии. Это будет способствовать снижению потерь энергии вследствие охлаждения жидкого металла.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.28.02.2018.T.03.04 ON THE ADMISSION OF
SCIENTIFIC DEGREES AT THE TASHKENT STATE TECHNICAL
UNIVERSITY AND THE NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN**

TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY

ABDURAKHMANOV KHUSNIDDIN ZAKIRKHOVICH

**GETTING HIGH-QUALITY CASTINGS FOR THE MANUFACTURE OF
ENGINEERING PARTS BASED ON 3D PRINTING**

**05.02.01 - Materials Science in Mechanical Engineering. Foundry. Heat treatment and
treatment of metals by pressure. Metallurgy of ferrous, non-ferrous and rare metals**

**ABSTRACT OF THESIS OF DOCTOR OF PHILOSOPHY (Phd)
IN TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent - 2019

The theme of the Ph.D. in technical sciences is registered in the Higher Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan for B2018.40.PhD/T716.

The thesis was performed at the Tashkent State Technical University.

The abstract of the thesis in two languages (Uzbek, Russian and English (summary)) is available on the website (www.tdtu.uz) and the information and educational portal "Ziyonet" (www.ziyonet.uz).

Scientific supervisor: **Turakhodjaev Nodir Djakhongirovich**
doctor of technical sciences, professor

Official opponents: **Abdullaev FATkhulla Sagdullaevich**
doctor of technical sciences, professor

Atajanov Gapur Latipovich
doctor of philosophy, assistant professor

Lead organization: **Tashkent Institute of Railway Engineers**

Defense of the thesis will be held on 06th december in 2019 at 13⁰⁰ at the meeting of the Scientific Council DSc.28.02.2018.T.03.04. at the Tashkent State Technical University and the National University of Uzbekistan. (Address: 100095, Tashkent, Universitet str., 2. Tel./fax: (99871) 227-10-32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz)

The thesis is available at the Information and Resource Center of the Tashkent State Technical University (registered under No.119). (Address: 100095, Tashkent, Universitet St., 2. Phone: (99871) 227-10-32.)

The thesis abstract was sent out on 22nd november in 2019.
(registered protocol № 120 from 22nd november in 2019).

K.A.Karimov

Chairman of the Scientific Council for Awarding scientific degrees, Doctor of Technical sciences, professor

R.U.Shukurov

The Scientific Secretary of the Scientific Council for scientific degrees, Doctor of Technical sciences, professor

F.S.Abdullaev

Chairman of the Scientific Seminar of the Scientific Council on awarding academic degrees, Doctor of Technical Sciences, Professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The purpose of the research work consists in developing technology of high quality mold products by the help of 3D printing.

The tasks of research:

determination of the influence of the temperature regime of applying a layer of liquid melt on fumes and quality of casting;

determining the influence of the composition of the casting model on the quality of the casting;

determining the degree of influence of the geometric parameters of the model on the quality of the resulting casting;

development of technology providing resource saving for receiving foundry products using 3D technology.

The object of the research work are foundry models obtained on the basis of 3D technology and foundry steel castings.

Scientific novelty of the research work

Technology of using model which is produced by 3D print for manufacturing mold products has been developed;

the diagram of dependence between the speed and diameter of an extruder on production of products on the basis of 3D technology has been developed;

the diagram of dependence between properties of an expendable material and diameter of an extruder at production of products on the basis of 3D technology has been developed;

the manufacturing techniques of a single form are developed by production of machine-building details;

the mode of extraction of foundry model from a casting mold without defects has been developed;

the technology of pouring liquid metal in expandable forms with the model received on the basis of 3D technology has been developed

The outline of the thesis.

Enterprises is to increase production efficiency and increase the competitiveness of product prices. One of the main indicators for producing cast products based on 3D technology is the speed of the extruder and the amount of printed material. In turn, the volume of printed products depends on the diameter of the extruder nozzle. To improve the technology for producing high-quality castings based on 3D technologies, we paid attention to optimizing the diameter of the extruder. To determine the optimum extruder diameter depending on the viscosity of the material being printed, the application of PLA material was conducted in the temperature of 210-230 °C. To determine the effect of gas and non-metallic inclusions on the quality of the manufactured model, Harrington's quality indicator was used. In determining Harrington's quality criterion, the average number of gas pores, the number of non-metallic inclusions, and the deviation from the given model dimensions were taken.

To optimize the size of the extruder, comparing the results of experiments on

both graphs, we make the following conclusion - the execution of the diameter of the extruder in the interval provides high-quality castings with optimal performance.

To study the quality of the obtained castings using the model using 3D technology, a mixture of two types of steel and cast iron was adopted. When studying the structure of steel castings, irregularities from traces of the model material on the surface of the castings were revealed.

Implementation of results of a research

On the basis of the received results on development of technology of receiving high-quality molds by 3D print for producing machine construction details:

Technology of receiving mold models by 3D print method is implemented at the Navaiy Engineering Plant (Reference No. 02-06-07/4487 GP "Navaiy mining metallurgical plant" of 9.04.2019). Use of the developed technology allowed increasing accuracy of geometrical model's parameters by 15-20%.

Technology of manufacturing expandable model form for receiving machine-construction details are implemented at Navoiy Engineering Plant (Reference No. 02-06-07/4487 GP "Navaiy mining metallurgical plant" of 9.04.2019). Use of the developed technology allowed increasing productivity of production of castings by 10-12%.

Technology of extraction of expandable model from is implemented at the Navaiy Engineering Plant (Reference No. 02-06-07/4487 GP "Navaiy mining metallurgical plant" of 9.04.2019). Use of the developed technology allowed to reduce the number of defects by 8-10%.

Technology of filling liquid alloy in expendable model forms is implemented at the Navoiy Engineering Plant (Reference No. 02-06-07/4487 GP "Navaiy mining and metallurgical plant" of 9.04.2019). Use of the developed technology allowed to increase a quality of molds due to decrease in roughness by 10-15%.

The structure and scope of the dissertation.

The structure of the dissertation consists of introduction, four chapters, conclusion, list of used literature, applications. The volume of the dissertation is 120 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I-бўлим (I-часть; I-part)

1. Тураходжаев Н.Д., Якубов Л.Э., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З. Повышение качества алюминиевых сплавов предварительным нагревом шихты. //ВЕСТНИК ТашГТУ. – Ташкент, 2013, № 2. – С. 75-79 (05.00.00. №16).

2. Тураходжаев Н.Д., Якубов Л.Э., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З. Новый метод повышения прочности поверхности отливок при заливке в кокиль. //ВЕСТНИК ТашГТУ. – Ташкент, 2014, № 1. – С. 63-67 (05.00.00.№16).

3. Тураходжаев Н.Д., Якубов Л.Э., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З., Тураходжаева Ш.Н. Применение медных и алюминиевых сплавов в биметаллических композиционных материалах. //Композиционные материалы. – Ташкент, 2015. - № 1. - С. 65–67 (05.00.00.№13).

4. Тураходжаев Н.Д., Якубов Л.Э., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З., Тураходжаева Ш.Н., Шоазимова У.Х., Азларова М.Ш. Способ переплава композиционных материалов для получения качественной структуры. //Композиционные материалы. – Ташкент, 2015. - № 3. - С. 30–32. (05.00.00.№13).

5. Salokhiddin Nurmurodov, Alisher Rasulov, Nodir Turakhodjaev, Kudratkhon Bakhadirov, Lazizkhan Yakubov, Khusniddin Abdurakhmanov, Tokhir Tursunov. Development of New Structural Materials with Improved Mechanical Properties and High Quality of Structures through New Methods. Journal of Materials Science Research, Canada. Canadian Center of Science and Education. Vol.5, 2016. № 3. – S. 52-58. (05.00.00. №22).

6. Тураходжаев Н.Д., Якубов Л.Э., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З. Рангли металларга ишлов бериш технологияси. //Композиционные материалы. – Ташкент, 2017. - № 1. - С. 38-42 (05.00.00.№13).

7. Тураходжаев Н.Д., Якубов Л.Э., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З. Разработка технологии получения литых заготовок с применением 3D печати. //Композиционные материалы. – Ташкент, 2018. - № 4. - С. 81-83 (05.00.00.№13).

8. Тураходжаев Н.Д., Якубов Л.Э., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З. Получение качественной отливки на основе 3D печати. //Композиционные материалы. – Ташкент, 2018. - № 3. - С. 81-83 (05.00.00.№13).

9. Norhudjaev F., Aliqulov A., Abdurakhmanov Kh., Tursunov T. Examination of Thermo physical Processes in the Creation of Metal Layered Compositions. International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE) ISSN: 2277-3878, Volume-8 Issue-2S10, September 2019, p. 361-366 (Scopus №7).

II-бўлим (II-часть; II-part)

10. Тураходжаев Н.Д., Абдурахманов Х.З., Турсунов Т.Х., Якубов Л.Э. Математическая модель теплообменного процесса в газовой печи. //Сборник научных статей Международной научно–практической конференции «Современные наукоёмкие технологии: приоритеты развития и подготовка

кадров». – Набережные Челны, 2014. - С. 84-89.

11. Тураходжаев Н.Д., Якубов Л.Э., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З. Математическое моделирование процесса оплавления медной и алюминиевой шихты. //Сборник научных статей Международной научно–практической конференции «Современные наукоёмкие технологии: приоритеты развития и подготовка кадров». – Набережные Челны, 2014. - С. 89-92.

12. Тураходжаев Н.Д., Якубов Л.Э., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З.. Тураходжаева Ш.Н. Разработка состав флюса для переработки отходов производства отливок. «Кон-металлургия тармоғининг муаммолари ва инновацион ривожлантириш йўллари». Республика илмий-амалий анжумани (Тошкент, Ўзбекистон, 2014), С.211-214.

13. Тураходжаев Н.Д., Якубов Л.Э., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З.. Тураходжаева Ш.Н. Ресурсосберегающая технология переработки и переплава шихты для получения качественной структуры сплава «Кон-металлургия тармоғининг муаммолари ва инновацион ривожлантириш йўллари» (Тошкент, Ўзбекистон, 2014), С.234-237.

14. Тураходжаев Н.Д., Якубов Л.Э., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З.. Тураходжаева Ш.Н. Методы переплава цветных сплавов с применением защитного флюса «1 Международная заочная научно-техническая конференция» (Челябинск, Россия, 2014).

15. Тураходжаев Н.Д., Якубов Л.Э., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З. Применение флюса для получения чугуна из оксида железа// “Фан ва техника тараққиётида интеллектуал ёшларнинг ўрни”. Республиканская научная конференция. Ташкент 2015. С.177-180.

16. Тураходжаев Н.Д., Якубов Л.Э., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З. Изменение свойств композиционных сплавов в зависимости от режима плавки //Сборник научных статей Международной научно–практической конференции «Полимерные композиты и трибология (Поликомтриб 2015)» (Гомель, Белоруссия, 2015). С.-122-124.

17. Тураходжаев Н.Д., Якубов Л.Э., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З. Машинасозликда буюм тайёрлаш таннархини камайтириш тадбирлари. Сборник материалов Международной научно-практической конференции. Ташкент 2010 г. С.-60-61.

18. Тураходжаев Н.Д., Абдурахманов Х.З., Якубов Л.Э., Х.З. Турсунов Т.Х. Технологик тизим элементларининг эластик силжишини қўшимларни ҳисоблашга таъсирининг тахлили. Рақобатбардош кадрлар тайёрлашга инновацион ёндашув. Республика илмий-амалий конференция материаллар тўплами. Тошкент 20-21 апрел 2012 йил.

19. Тураходжаев Н.Д., Абдурахманов Х.З., Якубов Л.Э., Х.З. Турсунов Т.Х. Влияние силовых факторов активирования на процесс электроконтактного припекания твердосплавных композиций на инструментальные поверхности. Сборник материалов Международной научно-практической конференции.

«Современные материалы, техника и технологии в машиностроении». Ташкент 19-20 апреля 2012 г. С.-37-38.

20. Тураходжаев Н.Д., Абдурахманов Х.З., Якубов Л.Э., Х.З. Турсунов Т.Х. Повышения износостойкости литых деталей почвообрабатывающих машин методом термической обработки. Техника ва ижтимоий-иктисодий фанлар соҳаларининг муҳим масалалари Республика Олий ўқув юртлараро илмий ишлар рўйхати 2012 й.

21. Тураходжаев Н.Д., Абдурахманов Х.З., Якубов Л.Э., Х.З. Турсунов Т.Х. Энергосберегающая технология переплава металлов и их сплавов. Технологическое обеспечение машиностроительных производств. Сборник научных трудов II Международной заочной научно-технической конференции. Челябинск. 16-17 декабря 2015 г. С.-48-51.

22. Тураходжаев Н.Д., Абдурахманов Х.З., Якубов Л.Э., Х.З. Турсунов Т.Х. Способ упрочнения рабочих поверхностей литых деталей. Технологическое обеспечение машиностроительных производств. Сборник научных трудов II Международной заочной научно-технической конференции. Челябинск. 16-17 декабря 2015 г. С-52-54.

23. Тураходжаев Н.Д., Абдурахманов Х.З., Якубов Л.Э., Х.З. Турсунов Т.Х. Новый способ получения оксида марганца и ферромарганца методом термического воздействия в печной среде. Ўзбекистонда геология фанлари: муаммолар, ривожланиши ва инновацион йўналишлари. Тошкент 2015 й.

24. Тураходжаев Н.Д., Абдурахманов Х.З., Якубов Л.Э., Х.З. Турсунов Т.Х. Получение заданного химического состава после термического воздействия. Республика илмий-техникавий анжуман. 2013 й.

25. Тураходжаев Н.Д., Абдурахманов Х.З., Якубов Л.Э., Х.З. Турсунов Т.Х. Разработка состава флюса для переработки отходов производства алюминиевых отливок. Международная научно-техническая конференция «Проблемы и пути инновационного развития горно-металлургической отрасли». 2014 г.

26. Тураходжаев Н.Д., Абдурахманов Х.З., Якубов Л.Э., Х.З. Турсунов Т.Х. Ресурсосберегающая технология переработки и переплава алюминиевой шихты для получения качественной структуры сплава. Международная научно-техническая конференция «Проблемы и пути инновационного развития горно-металлургической отрасли». 2014 г.

27. Тураходжаев Н.Д., Абдурахманов Х.З., Якубов Л.Э., Х.З. Турсунов Т.Х. Математическая модель теплообменного процесса в газовой печи. Современный наукоемкие технологии: приоритеты развития и подготовка кадров. Сборник статей Международной научно-практической конференции. Ташкент 2014 г. С.-127-128.

28. Тураходжаев Н.Д., Абдурахманов Х.З., Якубов Л.Э., Х.З. Турсунов Т.Х. Ресурсосберегающая технология переработки и переплава алюминиевой шихты для получения качественной структуры сплава. “Кон-металлургия тармоғининг муаммолари ва инновацион ривожлантириш йўллари” Халқаро илмий-техник анжуман Тошкент 2014 й.

29. Тураходжаев Н.Д., Абдурахманов Х.З., Якубов Л.Э., Х.З. Турсунов Т.Х. Разработка состава флюса для переработки отходов производства алюминиевых отливок. “Кон-металлургия тармоғининг муаммолари ва инновацион ривожлантириш йўллари” Халқаро илмий-техник анжуман Тошкент 2014 й.

30. Тураходжаев Н.Д., Абдурахманов Х.З., Якубов Л.Э., Х.З. Турсунов Т.Х. Анализ и исследования рекуррентных алгоритмов идентификации объектов в замкнутых системах управления. Сборник материалов Международной научно-технической конференции на тему: «Современные материалы, техника и технологии в машиностроении». Ташкент 2014 г.

31. N.Dj.Turakhodjaev, T.Kh.Tursunov, L.E.Yakubov, Kh.Z.Abdurakhmanov, Sh.N.Turakhodjaeva Mode of fusion of aluminium alloys. «Solidification and Crystallization of Metals 2015» (Bisko, Poland, 2015) pp. 53-56.

32. Н.Д.Тураходжаев, Т.Х.Турсунов, Ф.Н.Тураходжаева, Л.Э.Якубов, Х.З.Абдурахманов. Методы извлечения меди из отходов производства//Сборник материалов Международная научно-практическая конференция «Проблемы повышения эффективности работы современного производства и энерго-ресурсосбережения». Андижан 2018. С.250-254.

33. Тураходжаев Н.Д., Абдурахманов Х.З., Якубов Л.Э., Х.З. Турсунов Т.Х. Изменение свойств композиционных алюминиевых сплавов в зависимости от режима плавки. Международная научно-техническая конференция “Полимерные композиты и трибология” 2015 г

34. Тураходжаев Н.Д., Абдурахманов Х.З., Якубов Л.Э., Х.З. Турсунов Т.Х. Использование износостойких покрытий в дробильных установках. Сборник материалов республиканской научно-практической конференции. 2017 г.

35. Тураходжаев Н.Д., Абдурахманов Х.З., Якубов Л.Э., Х.З. Турсунов Т.Х. Машинасозликда буюм тайёрлаш таннархини камайтириш тадбирлари. Сборник материалов Международной научно-практической конференции. Ташкент 2017 г. С.48-49.

36. Абдурахманов Х.З., Камалов Ж.С., Турахужаева Ш.Н., Турсунов Т.Х. Тураходжаев Н.Д. Применение 3Д технологий для изготовления литейных моделей при литье изделий из алюминиевых сплавов. Международная научно-практическая интернет конференция студентов и магистрантов «Литьё и металлургия 2019». Минск, 16-17 октября 2019 г. С.-17-18.

Автореферат «ТошДТУ хабарномаси» журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ҳамда ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнларини мослиги текширилди.

Бичими: 60x84 ¹/₁₆. Рақамли босма усули. Times гарнитураси.
Шартли босма табағи: 4. Адади 100. Буюртма №60.

Гувоҳнома №10-3719

«Тошкент кимё-технология институти» босмахонасида чоп этилган.
Босмахона манзили: 100011, Тошкент ш., Навоий кўчаси, 32-уй.