

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық
емес акционерлік қоғамы



Ә.Бүркітбаев атындағы «Энергетика және машина жасау» институты
«Машина жасау» кафедрасы

Сағындықов Нұрдәулет Құттыбайұлы

«Жұқа қабырғалы (гильза тәріздес) бөлшектердің сапасын жақсарту әдістерін зерттеу»

МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

7М07112 – Машина жасау өндірісін цифрландыру

Алматы 2024

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық
емес акционерлік қоғамы



SATBAYEV
UNIVERSITY

Ә.Бүркітбаев атындағы «Энергетика және машина жасау» институты

«Машина жасау» кафедрасы

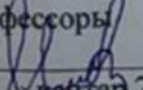
Сағындықов Нұрдәулет Құттыбайұлы

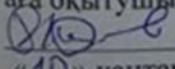
Магистр академиялық дәрежесін алу үшін
МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

Диссертацияның атауы: «Жұқа қабырғалы (гильза тәріздес) бөлшектердің сапасын
жақсарту әдістерін зерттеу»

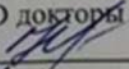
Дайындау бағыты: 7М07112 – Машина жасау өндірісін цифрландыру

Ғылыми жетекші
Қауымдастырылған профессор, PhD
 Рахматулина А.Б.
«11» 01 2024 ж.

Рецензент
Л.Б.Гончарова атындағы ҚазАЖИ
т.ғ.к., «Көлік техникасы және тасымалдауды
ұйымдастыру» кафедрасының
профессоры
 Мурзахметова У.А.
«11» қаңтар 2024 ж.

Норма бақылаушы
аға оқытушы
 Карпеков Р.К.
«10» қаңтар 2024 ж.

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ
«Машина жасау» кафедра
менгерушісі,
PhD докторы

 Е.З. Нугман
«11» қаңтар 2024 ж.

Алматы 2024

ДИПЛОМ ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ
ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ ДИПЛОМА

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық
емес акционерлік қоғамы



SATBAYEV
UNIVERSITY

Ә.Бүркітбаев атындағы «Энергетика және машина жасау» институты

«Машина жасау» кафедрасы

7M07112 – Машина жасау өндірісін цифрландыру

БЕКІТЕМІН

«Машина жасау» кафедра
менгерушісі,

PhD докторы

Е.З. Нугман

«12» қаңтар 2024 ж.

**Магистрлік диссертацияны орындауға арналған
ТАПСЫРМА**

Магистрант: Сағындыков Нұрдәулет Құттыбайұлы

Тақырыбы: Жұқа қабырғалы (гильза тәріздес) бөлшектердің сапасын жақсарту әдістерін зерттеу

Академиялық мәселелер жөніндегі проректордың 2022 ж. «05» сәуірдегі №487-М бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі: «12» қаңтар 2024 ж.

Магистрлік диссертацияның бастапқы деректері: Жұқа қабырғалы (гильза тәріздес) бөлшектердің сапасын жақсарту әдістерін зерттеу.

Магистрлік диссертацияда қарастырылатын мәселелер тізімі:

а) жұқа қабырғалы бөлшектерге шолу.

б) машинажасау саласында жұқа қабырғалы бөлшектердің жасалу және сапасын бақылау әдістері

в) жұқа қабырғалы бөлшектерді механикалық өңдеу.

г) Аддитивті технологияларды пайдалана отырып жұқа қабырғалы бөлшектерді басып шығару.

д) CAD, CAM, CAE программалық жүйелерін қолдана отырып жұқа қабырғалы бөлшектерді жобалау және тозімділік пен беріктілікке есептеу.

Графикалық материалдың тізімі (міндетті сызбаларды дәл көрсете отырып):

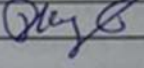
жұмыс презентациясы слайтарда 24 көрсетілген

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер тізімі: 24

**Магистрлік диссертацияны дайындау
КЕСТЕСІ**

Бөлімдер атауы, әзірленетін сұрақтар тізбесі	Ғылыми жетекшіге ұсыну мерзімдері	Ескерту
Жұқа қабырғалы бөлшектерді зерттеу	15.06.2023	Орындалды
Жасалу әдістерін талдау	5.08.2023	Орындалды
Жұқа қабырғалы бөлшектердің сапасын бақылау әдістеріне шолу.	1.09.2023	Орындалды
Аддитивті технологиялар арқылы жұқа қабырғалы бөлшектерді басып шығару	7.10.2023	Орындалды
Гильза моделіне анализ жасау	24.11.2023	Орындалды

Аяқталған магистрлік диссертация үшін, оған қытысты бөлімдердегі
диссертациялар кеңесшілері мен қалып бақылаушының
қолдары

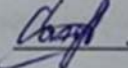
Бөлімдердің атауы	Кеңесшілер, тегі, аты, әкесінің аты, (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қол
Негізгі бөлім	Рахматулина А.Б., қауымдастырылған профессор, PhD	11.01.2024	
Қалып бақылаушы	Карпеков Р.К., аға оқытушы	10.01.2024	

Ғылыми жетекшісі



Рахматулина А.Б.

Білім алушы тапсырманы орындауға алды



Сағындықов Н.Қ.

Күні

«11» 01 2024 ж.

АНДАТПА

Жұқа қабырғалы бөлшектер мөлшері мен геометриялық ерекшеліктеріне байланысты өте күрделі өндірісті қажет етуі мүмкін. Мұндай бөлшектерді жасау көбінесе технологиялық қиындықтарды тудырады, өйткені өлшемдердің дәлдігін қамтамасыз ету керек, деформацияларды немесе ақауларды азайту керек, сонымен қатар жұмыс жағдайында қажетті беріктік пен төзімділікті қамтамасыз ету қажет.

Бұл жұмыс әртүрлі технологияларды, классикалық өңдеуді және 3D басып шығару технологиясын қолдана отырып, жұқа қабырғалы бөлшектерді өндірудің сапасы мен дәлдігін жақсартудың мүмкін әдістерін зерттеуге және талдауға бағытталған. Негізгі назар ақауларды азайтуға және өндірілген бөлшектердің беріктігін арттыруға бағытталған процестерді әзірлеуге және оңтайландыруға бағытталған. Жұқа қабырғалы құрылымдарды жақсарту әдістері мен материалдары өндіріс жағдайында олардың беріктігі мен дәлдігін арттыру мақсатында зерттеледі. Бұл зерттеудің нәтижелері әртүрлі салаларда, соның ішінде инженерия, медицина, аэроғарыш және жұқа және күрделі бөлшектерді жасау кезінде жоғары дәлдік пен сенімділікті қажет ететін басқа салаларда практикалық қолданылуы мүмкін.

ABSTRACT

Thin-walled parts can be extremely complex and demanding to manufacture due to their size and geometric features. The manufacture of such parts often presents technological challenges, since it is necessary to ensure dimensional accuracy, it is desirable to minimize deformations or defects, as well as to ensure the necessary strength and durability under operating conditions.

This work is aimed at studying and analyzing possible methods for improving the quality and accuracy of manufacturing thin-walled parts using various technologies, classical processing and 3D printing technology. The main focus is on the development and optimization of processes aimed at minimizing defects and increasing the strength of manufactured parts. Methods and materials for improving thin-walled structures are being studied in order to increase their durability and accuracy in production conditions. The results of this research can have practical applications in various industries, including engineering, medicine, aerospace and other areas where high precision and reliability are required when creating thin and complex parts.

АННОТАЦИЯ

Тонкостенные детали могут быть чрезвычайно сложными и требовательными к производству из-за своих размеров и геометрических особенностей. Изготовление таких деталей часто представляет технологические вызовы, так как необходимо обеспечить точность размеров, желательно минимизировать деформации или дефекты, а также обеспечить нужную прочность и стойкость в условиях эксплуатации.

Данная работа направлена на изучение и анализ возможных методов улучшения качества и точности изготовления тонкостенных деталей с использованием разных технологий, классической обработки и технологии 3D печати. Основное внимание уделяется разработке и оптимизации процессов, направленных на минимизацию дефектов и повышение прочности изготавливаемых деталей. Методы и материалы для улучшения тонкостенных структур подвергаются изучению с целью повышения их стойкости и точности в производственных условиях. Результаты этого исследования могут иметь практическое применение в различных отраслях, включая инжиниринг, медицину, аэрокосмическую промышленность и другие области, где требуется высокая точность и надежность при создании тонких и сложных деталей.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	7
1 Жұқа қабырғалы бөлшектреді жасау	9
1.1 Жұқа қабырғалы бөлшектер.....	9
2 Жұқа қабырғалы метал бөлшектердің сапасы анықтау	13
2.1 Жұқа қабырғалы метал бөлшектердің сапасын зерттеу әдістері	13
2.2 Жұқа қабырғалы метал бөлшектердің сапасы қадағалау.....	14
3 Жұқа қабырғалы бөлшектерді механикалық өңдеу.....	18
3.1 Металдан қалыпқа құю.....	18
3.2 Білдектерде өңдеу	20
3.3 Токарлы өңдеу	20
4 Жұқа қабырғалы бөлшекті 3D принтермен басу	29
4.1 FDM технологиясының жұқақабырғалы бөлшек жасау мүмкіндігі.....	29
4.2 Экструдердің басының бұрышын өзгерту механизмі	33
4.3 Экструдер басының кеңістіктік жағдайын өзгерту және қозғалысты жоспарлау.....	34
4.4 Бір қабырғалы қабырғалы бөлікті морфологиялық талдау	35
4.5 Көп жолақты қиғаш жіңішке қабырғалы бөлшектердің өнімділігін талдау	39
4.6 Үлгілердің ішкі ақауларын талдау	40
4.7 Беріктіктің шегін анықтау сынақтары	42
4.8 Сынуды талдау	45
4.9 Қисық сызықты беттерде алты еркіндік дәрежесі бар жұқа қабырғалы бөлшектерді басу.....	47
5 3D метал принтерді жұқа қабырғалы бөлшек жасауда қолдану	50
5.1 Металдан жұқа қабырғалы бөлшек басу	50
5.2 Жұқа қабырғалы темір бөлшек моделін есептеу	54
Қорытынды	62
Шартты қысқартулар мен белгілер	63
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	64
Қосымша А	
Қосымша Б	

КІРІСПЕ

Жұқа қабырғалы бөлшектер - бұл олардың ұзындығы мен енімен салыстырғанда қабырғаларының қалыңдығы салыстырмалы түрде (диаметрі мен қалыңдығының қатынасы 12:1) аз элементтер. Олар маңызды функционалдығы мен бірегей қасиеттеріне байланысты әртүрлі салаларда және инжинирингте кеңінен қолданылады. Жұқа қабырғалар жеңіл салмақты, эстетикалық көріністі немесе жоғары тиімділікті қажет ететін құрылымдарда жиі кездеседі.

Жұқа қабырғалы бөлшектерді жасау процесі 3D басып шығару технологиясының пайда болуымен тиімдірек және дәлірек болды. 3D басып шығару күрделі геометрия бөлшектерін және бұрын дәстүрлі әдістермен жасау қиын немесе мүмкін емес жұқа құрылымдарды жасауға мүмкіндік береді. Бұл өнеркәсіптік дизайн, медицина, авиация, аэроғарыш және т.б. сияқты әртүрлі салаларда жаңа мүмкіндіктер ашады.

3D басып шығару технологиясынан басқа, жұқа қабырғалы бөлшектерді жасау үшін классикалық өндіріс әдістері де қолданылады, олар мыналарды қамтиды:

Құю: балқытылған материалды қалыпқа құйып, қатайтатын әдіс. Ол металдарға, пластмассаларға және басқа материалдарға қолданылады. Жұқа қабырғалы бөлшектерді арнайы қалыптар немесе вакуумды құю әдістері арқылы жасауға болады.

Материалдарды өңдеу: материал блоктарын фрезерлік немесе токарлық станоктар сияқты станоктармен өңдеу арқылы жұқа бөлшектерді жасау әдісі. Жұқа қабырғалы бөлшектерді тегіс материалдардан кесуге, жонуға болады.

Сорғыш қалыптау: металдарға, пластмассаларға және шыныға қолданылады. Материал жұмсарады және шаблон немесе матрица арқылы тартылады, бұл құбыр немесе сым сияқты жұқа қабырғалары бар бөлшектерді жасауға мүмкіндік береді.

Бұрғылау және штамптау: тесіктерді бұрғылау немесе материалға жоғары қысымды қолдану арқылы жұқа және дәл бөлшектерді жасау әдістері.

Парақты қалыптау: металл парақтар сияқты Парақ материалынан бөлшектер жасау үшін қолданылады. Бұл иілуді, кесуді немесе терең тартуды қамтуы мүмкін.

Шыны немесе керамикалық өңдеу: арнайы өңдеу қолданылады, мысалы, әйнектен немесе керамикадан жұқа бөлшектер жасау үшін лазерлерді немесе химиялық процестерді пайдалану кезінде.

Алайда, 3D басып шығаруды қолдана отырып, жұқа қабырғалы бөлшектерді жасау технологиялық қиындықтардан босатылмайды. Бұған сәйкес материалдарды таңдау, сапаны бақылау, деформацияны болдырмау және беріктікті жақсарту кіреді. Басқа маңызды аспектілерге басып шығару процесін тиімді басқару және ақауларды азайту үшін материалдардың жылу ерекшеліктерін есепке алу кіреді.

Осы тұрғыда бұл зерттеу 3D басып шығару технологиясын қолдана отырып, жұқа қабырғалы бөлшектерді өндіруді жақсарту әдістері мен технологияларын зерттеуге бағытталған. Зерттеу нәтижелері 3D басып шығару технологиясын пайдалану кезінде қажетті беріктік пен дәлдікке ие жоғары сапалы жұқа қабырғалы бөлшектерді жасаудың оңтайлы тәсілдерін анықтауға мүмкіндік береді. Мысал ретінде Рено мен Ниссан көліктерінің жеңі келтірілген.

Бұл жұмыста аддитивті өндірісті қолдана отырып жұқа қабырғалы бөлшектердің сапасын жақсарту әдістерін зерттеу қарастырылады. Жұқа қабырғалы бөлшектреді жасау қиын, әрі қымбат. Стандартты әдістерден басқа 3D модельдеп принтермен басуға болады. 3D баспаның материалдары және басу технологиялары көп. Бөлшектің қолдану аясына қарап оны пластиктен, темірден, болаттан, титаннан, алюминийден, қатты полимерлерден, шайырдан, және т.б. материалдардан жасауға болады. Басу кезінде материалдың беріктігі және қабырғаның жұқалығы процестің қиындылығына қатты әсер етеді.

1 Жұқа қабырғалы бөлшектреді жасау

1.1 Жұқа қабырғалы бөлшектер

Жұқа қабырғалы бөлшектер машинажасау өндірісінде кеңінен қолданылады. Жұқа қабырғалы бөлшектреді жасау барысында қиындықтар туындауы мүмкін. Жұқа деп 2 мм ден аспайтын қабырғаларды есептеуге болады. Олар жұқа болғандықтан жасалуы кезінде сынуы және бастапқы өлшемдерден жылжып кетуі мүмкін. Егер пластикалық бөлшектерді қысыммен құю әдісімен жасауға болса, метал бөлшектерді олай жасау қиынға соқтырады. Металдан сапалы жұқа қабырғалы бөлшектерді алу үшін көбірек уақыт керек.

Жұқа қабырғалы бөлшектерді жасау нақты материалға және бөліктің дизайнының күрделілігіне байланысты. Дегенмен, жұқа қабырғалы бөлшектерді жасау үшін қолданылатын кейбір жалпы әдістер бар:

- Металл қаңылтырды қалыптау: бұл әдіс тегіс металл қаңылтырға жұқа қабырғалары бар үш өлшемді пішінді беруді қамтиды. Бұл процесті иілу, илемдеу, штамптау немесе иіру сияқты әдістер арқылы жасауға болады.

- Құйып қалыптау: бұл әдіс әдетте жұқа қабырғалы пластикалық бөлшектерді жасау үшін қолданылады. Ол балқытылған пластикті қалып қуысына енгізуді және оны суытып, қатайтуды қамтамасыз етуді қамтиды.

- 3D басып шығару: бұл әдіс бөліктің 3D үлгісін жасау үшін автоматтандырылған дизайн бағдарламалық құралын (CAD) пайдаланады, содан кейін ол 3D принтерді пайдаланып қабат-қабат басып шығарылады. Бұл процесті күрделі пішіндер мен дизайндарды жасау үшін пайдалануға болады.[1]

- Құю: бұл әдіс балқытылған металды немесе пластикті қалыпқа құюды және оны суытып, қатайтуды қамтамасыз етуді қамтиды. Бұл әдіспен жұқа қабырғалы бөлшектерді жасауға болады, бірақ қабырғалардың тұрақты қалыңдығына қол жеткізу және кеуектілік сияқты ақаулардан аулақ болу қиын болуы мүмкін.

- Кесу: бұл әдіс дайындаманы кескішпен кесу арқылы дайындауды көздейді. Фрезерлі немесе токарлы білдек арқылы дайындаманы кесу арқылы жұқа қабырғаларды алуға болады. Әдістің ерекшелігі: кесу режимдерін таңдау қиын және бөлшектің дәлділігі жоғары болу үшін көбірек уақыт кесуге тура келеді.

Әдетте, жұқа қабырғалы бөлшектерді жасау өндіріс процесін дәл бақылауды және жоғары сапалы материалдарды пайдалануды талап етеді. Тиісті құрал-жабдықтар технологиялық процесті бақылау соңғы өнімнің беріктігі, және өлшем дәлдігі бойынша қажетті техникалық талаптарға сәйкес келуін қамтамасыз ету үшін өте маңызды. [2]

Жұқа қабырғалы бөлшектердің сапасын жақсарту үшін өндіріс процесінде бірнеше нәрсені жасауға болады:

1) Материалды таңдау: жұқа қабырғалы бөлшектерді жасау үшін дұрыс материалды таңдау қажетті сапаға жету үшін өте маңызды. Материал беріктік, икемділік және коррозияға немесе тозуға төзімділік сияқты факторларға байланысты таңдалуы керек. Мысалы, егер бөлік жоғары жүктемелерге немесе қысымға ұшыраса, жоғары беріктігі мен қаттылығы бар материалды таңдау керек. Сол сияқты, егер бөлік агрессивті немесе абразивті ортаға ұшыраса, жақсы коррозияға немесе тозуға төзімді материалды таңдау керек.

2) Дизайнды оңтайландыру: бөліктің дизайны оның қажетті сапада жасалуы мүмкін екендігіне көз жеткізу үшін оңтайландырылуы керек. Бұл геометрияны түзетуді, өндіріс процесін өзгертуді немесе басқа материалды таңдауды қамтуы мүмкін. Мысалы, материалдың минималды шығынымен қажетті беріктік пен қаттылыққа жету үшін бөліктің қабырғасының қалыңдығы оңтайландырылуы керек. Сондай-ақ, бөлікті жасау қиын болуы мүмкін өткір бұрыштар немесе кесінділер сияқты ерекшеліктерді болдырмайтындай етіп жасау керек. [3]

3) Технологиялық процесті бақылау: бөлшектің қажетті сапада жасалуын қамтамасыз ету үшін өндіріс процесі мұқият бақылануы керек. Бұл температура, қысым және беру жылдамдығы сияқты факторларды бақылауды немесе ақауларды анықтау үшін автоматтандырылған басқару элементтерін пайдалануды қамтуы мүмкін. Мысалы, қаңылтырды қалыптау кезінде материалдың жарылып кетуіне немесе мыжылуына жол бермеу үшін металдың температурасын мұқият бақылау керек. Инъекциялық қалыптау кезінде бөліктің қажетті сапасына жету үшін инъекция қысымы мен температурасы оңтайландырылуы керек.

4) Тексеру және сынау: жұқа қабырғалы бөлшектер қажетті сапа стандарттарына сәйкес келетініне көз жеткізу үшін тексеріліп, тексерілуі керек. Бұл ультрадыбыстық немесе рентгендік бақылау сияқты бұзбайтын бақылау әдістерін немесе созылу немесе шаршау сынағы сияқты деструктивті бақылау әдістерін қолдануды қамтуы мүмкін. Мысалы, ультрадыбыстық бақылау жарықтар немесе кеуектілік сияқты ақауларды анықтау үшін пайдаланылуы мүмкін, ал созылу сынағы бөліктің беріктігі мен икемділігін анықтау үшін пайдаланылуы мүмкін. [4]

5) Оқыту және біліктілікті арттыру: жұқа қабырғалы бөлшектердің сапасы сонымен қатар процеске қатысатын операторлар мен техниктердің дағдылары мен біліміне байланысты. Тиісті оқыту және дағдыларды дамыту өндіріс процесінің минималды қателіктермен немесе ақаулармен тиімді және тиімді орындалуын қамтамасыз етуге көмектеседі.

Осы шараларды жүзеге асыра отырып, өндірушілер жұқа қабырғалы бөлшектердің сапасын жақсартып алады және олардың беріктігі, беріктігі және өлшем дәлдігі бойынша қажетті техникалық талаптарға сай болуын қамтамасыз етеді. [5]



1-сурет – Автокөлік қозғалтқышына қойылатын жұқа қабырғалы гильза

Жұқа қабырғалы бөлшектер кеңінен таралған. Мысалы, қазіргі автокөліктердің көбінде гильзалы (жұқа қабырғалы цилиндр тәріздес бөлшек) қозғалтқыштар орнатылған. Жеңдер-бұл ішкі қабырғаларында жұқа май пленкасын ұстауға арналған цилиндр тәрізді кірістірулер. Олар қозғалтқыштың цилиндр блогына салынып, оны поршеньдердің қозғалуынан болатын тозудан қорғайды. Ауыр машиналар қозғалтқыштарының цилиндр блоктарында, басқа, онша қатал емес қолдану салаларынан айырмашылығы, көп жағдайда поршеньді қозғалтқыш цилиндрінің қабырғаларымен тікелей байланыста жұмыс істеудің орнына жеңі бар цилиндрлер қолданылады. [6]

Қаптаманың екі негізгі түрі бар: бірінші түрі блоктың цилиндр қабырғаларымен тікелей жанасуды қамтамасыз етпейді. Бұл жағдайда корпус салқындатқыш ағынымен жуылады және осы себепті олар "дымқыл" немесе "wet" деп аталады. Екінші түрі - "кұрғақ" жеңдер, оларды "Ұйықтаушылар" деп те атайды, олар шын мәнінде Қозғалтқыш цилиндрлерінің блогына салынған жұқа қабырғалы жеңдер және олардың қабырғалары цилиндрмен тікелей байланыста болады. [7]

Цилиндр жеңдерін өндірушілердің қолдануы осы жүйенің артықшылықтарына байланысты. Олардың негізгілері төменде келтірілген:

- Жоғары беріктік – цилиндр блогынан бөлек гильзаларды пайдалану цилиндр блогының материалының сипаттамаларына қарағанда жоғары сипаттамалары бар арнайы материалдарды қолдануға мүмкіндік береді.

Әдетте, жеңдер графит сияқты табиғи майлау қасиеттері бар элементтері бар арнайы шойын қорытпаларынан жасалған. Хром, ванадий және молибден сияқты басқа элементтер жоғары температурадан туындаған коррозияға және тозуға төзімділікке кепілдік береді. [8]

- Жеңілдетілген техникалық қызмет көрсету: жеңдер тозған кезде, оларды бүкіл цилиндр блогын ауыстырғаннан гөрі ауыстыру оңайырақ.

- Жоғары жылу өткізгіштік. Жұмыс температурасында жеңдер цилиндрлерге қарағанда көбірек қызады, сондықтан олар диаметрі мен ұзындығы бойынша кеңеюі керек. Егер олар цилиндрлермен бірге құйылса, онда бұл материалдардың бұзылуына әкелетін термиялық жүктемелерге әкеледі.

Ақаулардың пайда болу қаупі аз. Құю неғұрлым күрделі болса, қалдық кернеулері төмен біртекті беттерді алу соғұрлым қиын болады.[9]

Гильзалар көптеген жүктемелерге ұшырайды:

- 1) жанармайдың жану қысымынан туындаған механикалық;
- 2) жылу шақырылған жоғары температурада түзілетін жану процесінде;
- 3) үш фактор әсер ететін тозу:
 - ауа мен май сүзгісінің тиімділігіне байланысты абразивті әрекет;
 - коррозия туындаған жану өнімдерімен;
 - майлаудың жеткіліксіздігінен туындаған үйкеліс немесе абразия.

[10]

Барлық осы себептерге байланысты бұл компоненттердің өндірістік процесі үлкен маңызға ие және олардың дизайны қозғалтқышты қорғау және оның мотор ресурстарын арттыру үшін қатаң сипаттамаларға сәйкес келуі керек, мысалы:

- жоғары коррозияға қарсы және беріктік қасиеттері;
- төмен үйкеліс;
- жоғары дәлдік.

Жұқа қабырғалы бөлшектер машинажасау, авиация, ғарыш өндірістерінде маңызды рөл алады. Жұқа қабырғалы бөлшектреді жасаудың жаңа технологиялары бар. 3D баспа болашақта жұқа қабырғалы бөлшектер жасауда маңызды рөл алады және қиын формалы заттарды жасауға мүмкіндік береді. Алайда классикалық жолдар: құю мен механикалық өңдеу ешқайда кетпейді. Сапаны көтеру өте дәл білдектер мен қалыптарға ғана байланысты емес, сол жабдықтарды пайдаланатын адамдарға, инженерлерге де байланысты. Жұқа қабырғалы бөлшектерді жасау әрқашан маңызды болады.

2 Жұқа қабырғалы метал бөлшектердің сапасы анықтау

2.1 Жұқа қабырғалы метал бөлшектердің сапасын зерттеу әдістері

Металл жұқа қабырғалы бұйымдардың сапасын өлшеу бірнеше себептерге байланысты үлкен маңызға ие.

Беріктік және қауіпсіздік: жұқа қабырғалы металл бұйымдарының сапасы олардың беріктігі мен сенімділігіне тікелей әсер етеді. Сапаның жеткіліксіздігі қауіпті болуы мүмкін немесе өнімнің қызмет ету мерзімін қысқартуы мүмкін ақауларға әкелуі мүмкін.

Стандарттарға сәйкестік: сапаны өлшеу өнімдердің салалық стандарттар мен талаптарға сәйкес келуін қамтамасыз етеді, бұл қауіпсіздік пен сенімділік үшін маңызды.

Экономикалық аспектілер: сападағы кемшіліктер өндіріс қалдықтарының, ақаулардың көбеюіне немесе тұтынушылардың сенімін жоғалтуға әкелуі мүмкін, бұл кәсіпорынның экономикалық тиімділігіне әсер етуі мүмкін.

Инженерлік талаптар: авиация, автомобиль, медициналық техника, электроника және т.б. сияқты әртүрлі салаларда жұқа қабырғалы металл бұйымдарының сапасы жұмыс тиімділігі мен жүйелердің қауіпсіздігін қамтамасыз етуде шешуші рөл атқарады.

Бәсекеге қабілеттілікті арттыру: өнімнің жоғары сапасы компанияның нарықтағы беделі мен бәсекеге қабілеттілігін жақсартуға ықпал етеді, бұл жаңа клиенттерді тартуға және бұрыннан барларын сақтауға әкелуі мүмкін.

Инновациялар мен жақсартулар: сапаны талдау жақсартулар мен инновациялардың бағыттарын анықтауға мүмкіндік береді, осылайша өнімнің үздіксіз дамуы мен жетілдірілуіне ықпал етеді.

Тұтынушылардың қауіпсіздігі: кейбір жағдайларда жұқа қабырғалы металл бұйымдарының сапасының төмендігі тұтынушылардың қауіпсіздігіне қауіп төндіруі мүмкін, сондықтан сапаны бақылау өте маңызды болады.

Жұқа қабырғалы металл бұйымдарының сапасын өлшеу олардың стандарттарға сәйкестігін қамтамасыз етуге, жұмыс кезінде қауіпсіздік пен сенімділікті қамтамасыз етуге, сондай-ақ клиенттердің сенімін арттыруға және нарықтағы позициясын жақсартуға мүмкіндік береді.

Металдан жасалған жұқа қабырғалы бөлшектердің сапасын өлшеу және бақылау әртүрлі әдістер мен құралдарды қолдану арқылы жүзеге асырылуы мүмкін. Міне, осындай өнімдердің сапасын өлшеу мен бақылаудың бірнеше әдісі бар:

- қалыңдықты өлшейтін калибрлер: жұқа қабырғалы бөліктердің қабырғаларының қалыңдығын дәл өлшеу үшін арнайы калибрлерді немесе микрометрлерді қолдану;
- ультрадыбыстық дефектоскопия: ультрадыбыстық толқындарды материалдың жарықтары, қосындылары және басқа да ауытқулары сияқты ішкі ақауларды анықтау үшін қолданатын әдіс;

- лазерлік микроскопия: қабырғалардың өлшемдері мен қалыңдығын жоғары дәлдікпен өлшеу үшін лазерлік жүйелерді қолдану;
- микроскопия және білім беру әдістері: материал құрылымының беткі ақауларын немесе гетерогенділігін анықтау үшін бөлшектерді микроскоппен тексеру және талдау;
- координаталық өлшеу машиналары (КИМ): бұл бағдарламалау мен процесті автоматтандыруға негізделген өнімдердің өлшемдері мен формаларын дәл өлшеуге мүмкіндік беретін арнайы машиналар;
- рентгендік дефектоскопия: әдіс ішкі ақауларды анықтау және дәнекерленген жіктер мен металл құрылымдарының сапасын тексеру үшін рентген сәулелерін пайдаланады;
- спектрлік құралдарды қолдану: металл материалының құрамын бағалау және мүмкін ақауларды анықтау үшін спектрлік анализаторларды қолдану арқылы сәулелену спектрін талдау;
- термография: материалдың термиялық таралуындағы гетерогенділікті анықтау үшін инфрақызыл сәулеленуді қолданатын әдіс;
- беріктік пен шаршауды сынау: беріктік сипаттамалары мен циклдік жүктемелерге төзімділікті анықтауға арналған механикалық сынақтар.

Бұл әдістердің әрқайсысының өзіндік артықшылықтары бар және оларды бөлшектердің түріне, сапаны бақылау талаптарына және қол жетімді технологияларға байланысты қолдануға болады. Бірнеше әдістердің комбинациясы ақауларды неғұрлым толық және дәл анықтауға және жұқа қабырғалы металл бөлшектердің сапасын бақылауға мүмкіндік береді.

2.2 Жұқа қабырғалы метал бөлшектердің сапасы қадағалау

Химиялық құрамын, құрылымын, механикалық қасиеттерін және қалдық кернеулер деңгейін анықтай отырып, металл өнімдерінің сапасын бақылау оның жұмыс қабілеттілігінің негізі және апатсыз пайдалану кепілі болып табылады. Металлургиялық дайындамалар мен дәнекерленген конструкцияларды өндіретін кәсіпорындарда материалдардың сапасын бақылау шеңберінде сынамалар негізінен металда орындалады, олар не дайындамалардан тікелей іріктеледі, не оларға қоса беріледі және оларды барлық қайта бөлу бойынша сүйемелдейді. Сынамалардан арнайы үлгілер жасалады, оларда қажетті сынақтар орындалады.

Дегенмен, бұл әрқашан мүмкін емес. Сонымен, жауапты мақсаттағы, оның ішінде дәнекерлеу және балқыту арқылы жасалған ірі көлемді бұйымдар үшін металдың сапасын бақылауды бөлек дайындалған сынамалардан немесе бұйымның өзінен жасалған металдан басқаша орындау мүмкін емес, бірақ дайын өнімнен сынамаларды кесуге әрқашан жол берілмейді.

Екінші жағынан, машина жасау кәсіпорындары көбінесе кіріс бақылауын немесе дайындамалардың металл сапасын қосымша тексеруді талап етеді. Бұл, әдетте, металды қосымша тұтынуға және іс-шаралар тізбегіне

әкеледі (сынама алу, үлгілерді дайындау, сынақтарды орындау). Сынама алу мүмкіндігі болмаған жағдайда (мысалы, дайын өнімнен немесе пайдалану процесінде) сапаны бақылау қиын немесе мүмкін болмайды. Осыған байланысты бұйымды бұзбай металл өнімдерінің сапасын бақылау кезіндегі сынақтар мен зерттеулер металл өнімдерін өндірушілер мен тұтынушылар үшін өндіріс кезінде металдың сапасын бақылау бойынша да, пайдалану процесінде оның жай-күйін мониторингтеу бойынша да кең мүмкіндіктер ашады.

Металдардың сапасын бағалау құрамы мен пайдалану қасиеттерін қамтиды. Міне, олардың негізгілері.

- химиялық құрамы, маркасы;
- механикалық және технологиялық;
- микро және макроқұрылымдық талдау;
- дәнекерлеу материалдары мен қосылыстардың сапасы;
- ипотекалық бұйымдар, болт қосылыстары талданады және сыналады.

Бұйымдарда/конструкцияларда оларды зақымдамай және сынама алмай тікелей анықтауға мүмкіндік беретін сынақ жабдықтарының тізімі металдың әртүрлі сипаттамалары:

- қажетті өлшеу дәлдігін қамтамасыз ете отырып, 18895-97 МЕСТ талаптарына сәйкес фотоэлектрлік спектрлік талдау әдісімен химиялық құрамы. Техника болаттардың негізгі химиялық құрамын, соның ішінде көміртекті де, қоспа элементтерінің құрамын да анықтауға мүмкіндік береді: күкірт, фосфор, алюминий, мышьяк, қалайы, сурьма және т.б. сонымен қатар, никель, мыс, алюминий негізіндегі қорытпалардағы қоспалардың құрамын талдауға болады. Элементтердің концентрациясын өлшеу диапазоны 0,001-ден 99,0-ге пайызға дейін;

- қажетті дәлдікті қамтамасыз ете отырып, 28033-89 МЕСТ талаптарына сәйкес рентген-флуоресцентті талдау әдісімен болаттардың химиялық құрамы. Техника болаттар мен қорытпалардың негізгі химиялық құрамын (көміртекті қоспағанда) және қоспа элементтерінің құрамын анықтауға мүмкіндік береді. Химиялық элементтердің концентрациясын өлшеу диапазоны 0,001-ден 99,0 пайызға дейін. Мобильді спектрометрлердің мүмкіндіктерінің мысалы ретінде үлкен дайындаманы жасауға арналған 15x2 **НМ-ға** болат құймасының өстік аймағындағы химиялық элементтерді жоюды зерттеу жұмысы болып табылады. Зерттеулер қабықты соғу кезінде пайда болатын өстік қалдықтардан жасалған темплет металында жүргізілді. Темплет ауданы бойынша жүргізілген талдау осы аймақтардағы металдың химиялық құрамы туралы мәліметтер алуға мүмкіндік берді, олардың негізінде 10 элементтің әрқайсысы үшін жою дәрежесі есептелді. Нәтижесінде никель мен алюминийден басқа барлық химиялық элементтердің өс бойынша жойылу дәрежесі максималды және жоғарыдан төменге және құйманың ортасынан периферияға дейін төмендейтіні анықталды. Сондай-ақ, зерттелетін құймадағы металл емес қосындылардың (алюминаттардың) тұндыру

конусының аймағы жоғарыдан ~2000 мм деңгейінде басталып, денедегі химиялық элементтердің теріс жою аймағына сәйкес келетіні анықталды;

- болаттар мен қорытпалардың қаттылығы, сондай-ақ олардың дәнекерленген қосылыстары бринелл, Викерс және Рокуэлл сандарында қаттылық мәндерінің кең ауқымында. Өлшеу дәлдігі-0,5 пайыз;

- көміртекті және легирленген болаттардың (оның ішінде коррозияға төзімді) және түсті қорытпалардың, сондай-ақ дәнекерленген қосылыстардың макроқұрылымы. Әдістеме химиялық оюды, Бауман 10243-75 **МЕСТ** әдісі бойынша күкірт іздерін алуды, макроқұрылым ақауларының жіктелуін қамтиды;

- көміртекті және легирленген болаттардың (оның ішінде коррозияға төзімді) металл емес қоспалармен ластануы. Металлографиялық бақылау әдісі 1778-70 **МЕСТ** шкаласының балын тексеруге болатын дайындаманың немесе құрылымның кез келген аймағында әртүрлі типтегі металл емес қосылыстар үшін анықтауға мүмкіндік береді;

- көміртекті және легирленген болаттардың (оның ішінде коррозияға төзімді), сондай-ақ дәнекерленген қосылыстардың микроқұрылымы (2-**сурет**). Әдістеме 5639-82 **МЕСТ** шкаласының астық мөлшерін анықтауға, құрылымдық компоненттерді жіктеуге және микроқұрылымның әртүрлі ерекшеліктерін, соның ішінде микроқұрылымдардың болуын анықтауға мүмкіндік береді;

- аустениттік дәнекерлеу материалдарымен балқытылған металдағы феррит фазасының мазмұны, сәйкесінше AWSA4.2м:2006 (ISO 8249:2000MOD) және RMD 2730.300.08–2003 сәйкес жергілікті (жанасу) магниттік әдіспен феррит фазасының құрамын FN феррит сандарында және тиісінше пайызбен анықтай отырып;

- қалдық кернеулер бензометриялық ring-core әдісімен. Техника энергетикалық машина жасаудың ірі өнімдеріне (роторлар, дискілер және т.б.), сондай-ақ әртүрлі бұйымдардың дәнекерленген қосылыстарына арналған қалдық кернеулердің деңгейін анықтауға мүмкіндік береді.

Осылайша, сынақтар мен зерттеулердің жүзеге асырылатын әдістерінің кешені өте алуан түрлі және металдың сапасын оның зақымдалуынсыз немесе геометриялық өлшемдерін өзгертпестен жан-жақты бақылауға мүмкіндік береді. Осы сынақтар мен зерттеулер нәтижелерінің дұрыстығы сынақ орталығының аккредиттеу аттестатымен расталады және әзірленген әдістемелердің кең кітапханасымен, жабдыққа метрологиялық қызмет көрсетумен, жоғары біліктілікпен және қызметкерлердің мол тәжірибесімен қамтамасыз етіледі.

Қазіргі уақытта бұл сынақтар мен зерттеулер өнімнің күрделі түрлерін – мұнай-химия өнеркәсібінің корпусық жабдықтарын, энергия машина жасау бұйымдарын дайындау кезінде сапаны бақылау шеңберінде орындалады және АЭС корпусық жабдықтарын және өзге де металл өнімдерін, оның ішінде жауапты мақсаттағы [11-16] өндіруде белсенді енгізілуде.

Мобильді/портативті құрылғыларды қолдана отырып, осындай сапаны бақылауды енгізу айтарлықтай экономикалық әсер етуі мүмкін. Ең алдымен, бұл металды үнемдеу арқылы жүзеге асырылады, өйткені деструктивті сынақтар мен зерттеулер үшін сынама алу қажеттілігі жоқ. Бұл, әсіресе, дайын металл бұйымын кесу қажет болған жағдайда немесе сынама алу кезінде алынатын металдың көлемі сынаманың өзінен едәуір асып кетсе тиімді.

Сонымен қатар, дайын өнімнің/бөлшектің металл сапасын растау қажет болған жағдайларды атап өткен жөн, мұнда сынама алу мүмкін емес. Бұл жағдайда үнемдеу өнімнің өзіндік құнымен салыстырылады, ал жүргізілген сынақтар мен зерттеулер көбінесе оның металының нақты сапа деңгейін дәл көрсетеді.

Осылайша, заманауи сынақ жабдықтары мен аспаптарын тікелей өнімге қолдана отырып жүргізілген сынақтар мен зерттеулер шығындар мен уақытты едәуір үнемдей отырып, оның металының нақты сапа деңгейі туралы сенімді ақпарат алуға мүмкіндік береді.

3 Жұқа қабырғалы бөлшектерді механикалық өңдеу

3.1 Металдан қалыпқа құю

Машина жасауды дамытудың осы кезеңінде бөлшектерді құюдың дұрыс әдісін таңдау мәселесі өзекті болып табылады. Бір-бірінен көптеген факторлармен ерекшеленетін 50-ден астам құю әдістері бар. Құю әдісін шешпес бұрын, келесі критерийлер бойынша қойылатын талаптар туралы білуіңіз керек:

- құю материалы-металл (қара және түсті) және металл емес құю;
- құймаларды болашақ қолдану;
- параметрлердің дәлдігі (кедір-бұдыр дәрежесі, қабырға қалыңдығы және т.б.).

Осы негізгі параметрлерді, сондай-ақ мүмкін болатын қосымша талаптарды ескере отырып, құю әдісі таңдалады.

Құю технологиясының негізгі түрлері:

- құмды қалыптар – арзан, бірақ өлшемдері бойынша ең дәл емес әдістердің бірі; құюдың ең көп қолданылатын әдісі;
- кокиль-жоғары дәлдіктегі құю әдісі, бөлшектердің үлкен серияларын балқыту үшін өндірісте кеңінен қолданылады;
- балқытылатын модельдер бойынша-әдіс күрделі пішінді бөлшектерді алу үшін қолданылады;
- қысыммен-күрделі конфигурация бөлшектерін құюға жарамды әдіс; автоматтандырылған (аз еңбекті қажет ететін) процесс, сондықтан сериялық өндіріске жарамды; алынған бөліктің беті жоғары сапалы және өлшемдік дәлдікке ие;
- газдандырылатын модельдер бойынша – өндіріс процесінің үнемділігі тұрғысынан ең тиімді әдіс;
- қабық пішіндері-термоактивті қоспалардан салмағы 25 кг-ға дейінгі пішінді құймаларды алу тәсілі;
- центрифугалық – құймалардың айналмалы формаларын алу үшін қолданылады – мысалы, бұталар, құбырлар және т.б.; бұл әдістің сөзсіз артықшылықтары – металдың жоғары тығыздығы мен тозуға төзімділігі.

Құюдың басқа әдістері де бар, бірақ олар нақты тағайындауларға сәйкес келеді. Айта кету керек, өндіріс кезінде құюдың бір әдісімен шектелудің қажеті жоқ, оларды біріктіруге болады. Бұл жұмыста авторлар суық қататын қоспаларға құю әдістерін және балқытылатын модельдерді егжей-тегжейлі қарастырады.

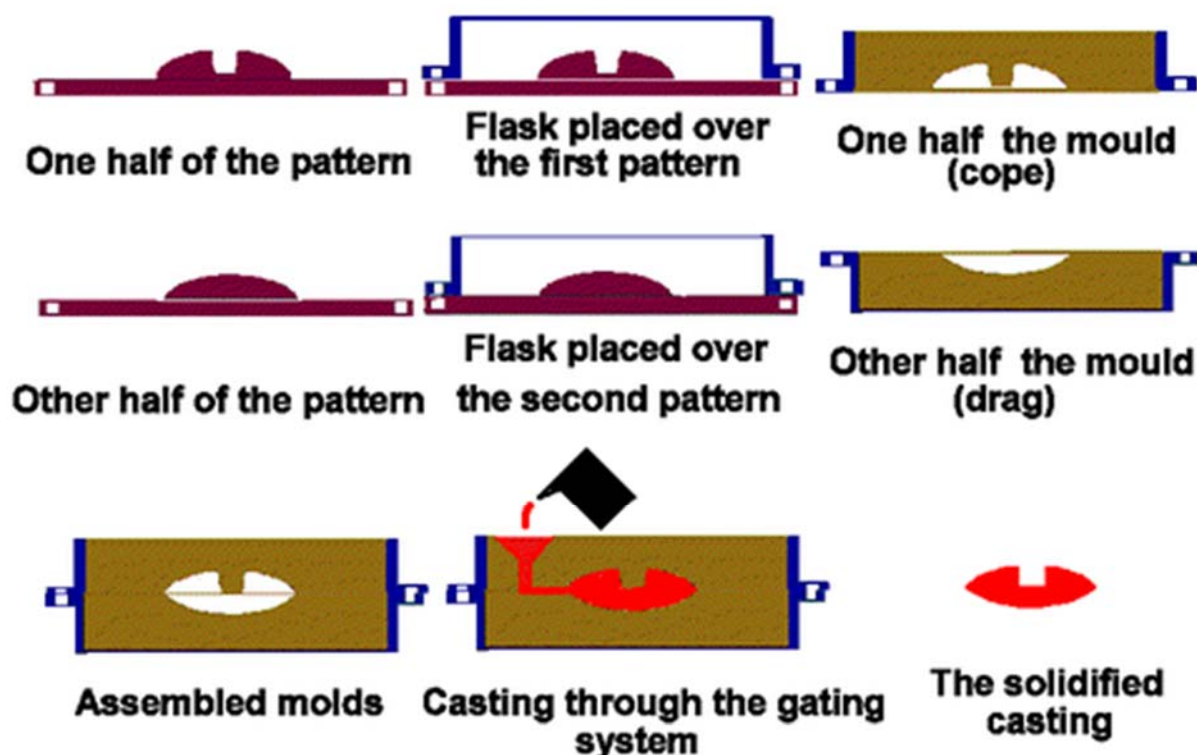
Жерге құю анықтамалары

Металды құм негізіндегі қалыптарға құю технологиясы қандай терминдермен аталатынын анықтайық. Тұжырымдамалар ұқсас болып саналады:

- құмды қалыптарға құю, қоспалар;
- құмды-сазды қалыптарға құю, қоспалар;

- топыраққа құю.

Бұл терминдердің барлығы бірдей құю технологиясын білдіреді. Бұдан әрі кез-келген атауды қолдану аналогтар болып саналады.



2-сурет – Құю сызбасы

Құю өнімдері

Құмды құю-металдар мен қорытпаларды құю әдісі, онда балқытылған металл тығыз оралған құмнан жасалған қалыпқа құйылады. Құм түйіршіктерін бір-бірімен байланыстыру үшін құм балшықпен, сумен және басқа байланыстырғыш материалдармен араласады.

Барлық металл құймалардың 70%-дан астамы құмды қалыптарды құю процесі арқылы жасалады.

Негізгі кезеңдер

Бұл процесте алты қадам бар:

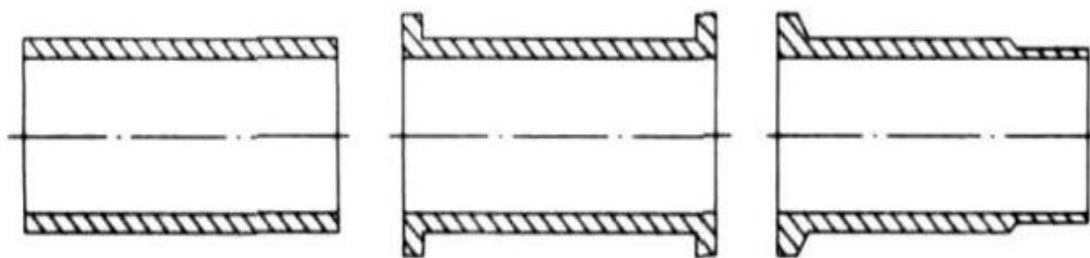
- пішінді жасау үшін модельді құммен бірге орналастырыңыз;
- қажетті орындарда шырша жүйесі мен іш кату қосылады;
- опокадан үлгіні алып тастаңыз және жартылай пішіндерді қосыңыз;
- қалып қуысын балқытылған металмен толтырыңыз;
- технологияға сәйкес қатып қалған металды тіреулерге төтеп беру;
- құйманы нокаутқа түсіріп, шыршалар мен бұдырлардан босатыңыз.

3.2 Білдектерде өңдеу

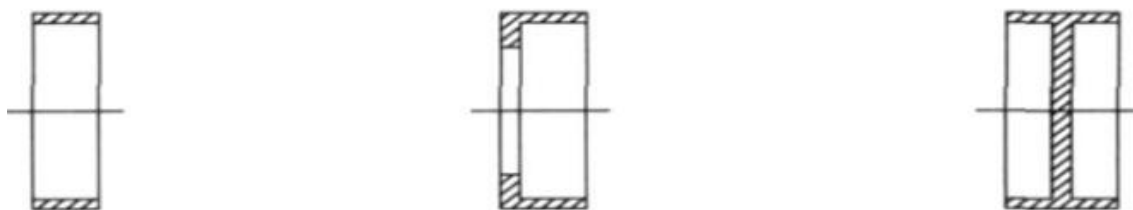
Жұқа қабырғалы жең бөліктің қабырғасының қалыңдығын және оның радиалды, өстік өлшемдерін білдіреді, бұл үлкен айырмашылықпен салыстырғанда, әдетте ондаған, тіпті жүздеген тонна. Металл материалдарының бөліктері бар, материалды үнемдеу, қарапайым құрылым және басқа сипаттамалары бар. Жұқа қабырғалы бөлшектер мұнай жабдықтарының әртүрлі компоненттерінде кеңінен қолданылады. Бірақ токарлық процестің жұқа қабырғалы бөлшектері күрделірек, нақты себебі-жұқа қабырғалы бөлшектердің өзіндік қаттылығы, әлсіз беріктігі, токарлық өңдеу процесінде өте оңай деформацияланады, сапасын қамтамасыз ету қиын. Жұқа қабырғалы бөлшектерді өңдеу дәлдігін қалай жақсартуға болады. Машина жасау өнеркәсібі үшін проблема болып табылады.

3.3 Токарлы өңдеу

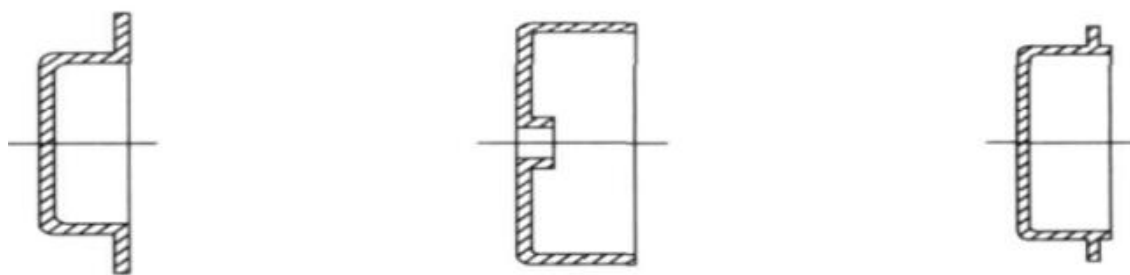
Токарлық өңдеу процесінде біз көбінесе жұқа қабырғалы бөлшектерді кездестіреміз. Жіңішке қабырғалы бөлшектер сияқты (3-сурет), сақиналы жұқа қабырғалы бөлшектер (4-сурет), жұқа қабырғалы бөлшектер (5-сурет). Жұмыста жұқа қабырғалы бөлшектерді өңдеу сипаттамалары, деформацияны болдырмау үшін қысу әдісі, токарлық құралдың материалы, кесу параметрлерін таңдау және токарлық құралдың геометриялық бұрышы егжей-тегжейлі талданады. Жұқа қабырғалы бөлшектерді жақсырақ өңдеудің теориялық негізін қалау және болашақта өңдеу сапасын қамтамасыз ету үшін көптеген эксперименттер жүргізілді.



3-сурет – Білік жеңінің жұқа қабырғалы бөлшектері



4-сурет – Сақиналы жұқа қабырғалы бөлшектер



5-сурет – Дискінің жұқа қабырғалы бөліктері

Қабырға бөлшектерін өңдеу сипаттамалары

Жұқа қабырғалы бөлшектердің арқасында жалпы қысқыш қондырғыны пайдалану кезінде қысу қысымы деформацияны өте оңай тудырады, ал қысқыш күші бөлшектер үшін жеткіліксіз және оңай әлсірейді, бұл бөлшектердің өлшемдік дәлдігі мен пішінінің дәлдігіне әсер етеді.

6-суретте көрсетілгендей, үш жұдырықты картридждің қысқыш бөліктерін қысқыш күштің әсерінен қолданған кезде, бөлік сәл үшбұрышты болады, бұрылғаннан кейін цилиндрлік корпус пайда болады. Алайда, жақтарды босатып, бөлікті алып тастағаннан кейін, ол бөліктің икемділігіне байланысты доға тәрізді үшбұрышқа оралады. Осы кезде микрометрмен өлшегенде диаметрі барлық бағытта бірдей, бірақ деформацияланған бөлігі цилиндр емес деп есептесек, бұл деформация құбылысын тең диаметрлі деформация деп атаймыз.



6-сурет – Үш жұдырықты патронның қысқышы

Бөлшектер жұқа болғандықтан, өңдеу кезінде кесу жылуы бөлшектердің деформациясын тудырады, бұл бөлшектердің өлшемін бақылауды қиындатады. Металл жұқа қабырғалы бөлшектердің кеңею коэффициенті үшін, мысалы, үздіксіз жартылай бұралу және әрлеу кезінде бір қондырғыда,

кесу жылуынан туындаған бөлшектердің термиялық деформациясы оның өлшемдерінің дәлдігіне үлкен әсер етеді, кейде тіпті арматура түріндегі оправкаға жабысып қалған бөлшектерді жасайды.

Ішкі тесіктерді өңдеу кезінде жұқа қабырғалы бөліктер, әдетте, бір қырлы бұрғылауды қолдана отырып, бұл кезде бөліктер ұзағырақ болады, егер құралдың параметрлері мен кесу мөлшері дұрыс өңделмесе, бұл чиптерді алып тастауда қиындықтар туғызады, өңдеу сапасына, құралдың зақымдалуына әсер етеді.

Қысқыш күшінің әсері, бөлік деформацияны немесе дірілді тудырады, өлшемдердің дәлдігі мен сыртқы түрінің кедір-бұдырлығын бақылау оңай емес. Егер құралдың бұрышы дұрыс болмаса немесе ол тозған болса, бұл кесу күшінің жоғарылауына әкеледі, дайындаманың сыртқы түрі діріл тудырады, бұл сапаның көрінісіне әсер етеді.

Қабырға бөлшектері нашар қатаң, сіз үлкен кесу көлемін пайдалана алмайсыз, өнімділігі төмен.

Сондықтан қолайлы қысу әдісін, өңдеу технологиясын, ақылға қонымды кесу мөлшерін, құрал материалы мен бұрышты таңдау, бөлшектердің дірілін азайту, жеткілікті салқындату және сынау жұқа қабырғалы бөлшектерді өңдеуді қамтамасыз етудің негізгі факторлары болып табылады.

Қабырға бөлшектерін бекіту әдістері

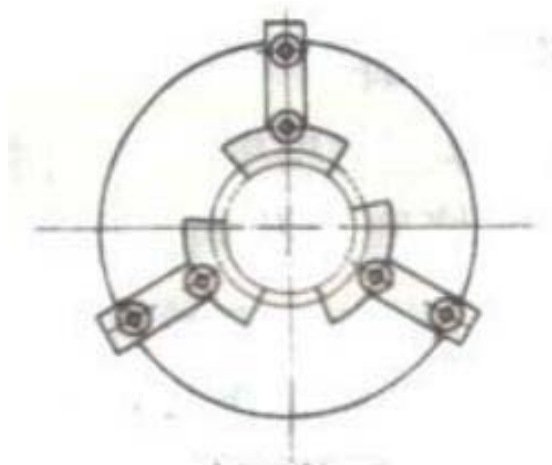
Жұмсақ жақтардың жалпы орналасуы: бөлшектердегі қысу күші бөлшектерді өңдеу кезінде пішін мен өлшемге төзімділік талаптарына сәйкес келетін жақсы қаттылыққа ие болу үшін қысқыш күшінің ақылға қонымды әсер ету нүктесін таңдаңыз.

Артықшылықтары: жеңіл тиеу және түсіру, ұзындығы реттеледі, үлкен кесу күштеріне төтеп береді.

Кемшіліктері: бөліктің орналасу нүктесі неғұрлым шоғырланған, бөлік қатайғаннан кейін деформацияланады.

Желдеткіш тәрізді жұмсақ қысқыш губкалар

Үш камералы патронның желдеткіш жұмсақ камераларын қолдану (7-сурет) өңделетін бөлшектердің қысқыш бетімен динамикалық қону талаптарына сәйкес, бөліктен жанасу аймағын ұлғайту үшін жұдырықшалардың жұмыс бетін өңдеу.

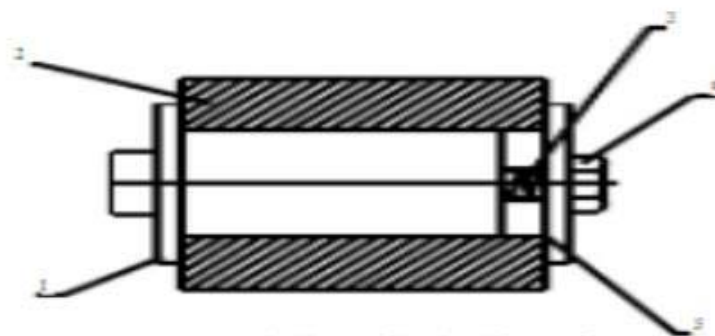


7-сурет – Желдеткіш тәрізді жұмсақ губкалар

Артықшылықтары: бөліктің тірек бетін ұлғайту үшін қысу күшінің ауданын көбейтіңіз, қысу күші жұмыс бетіне біркелкі бөлінеді, кесу мөлшерін көбейтуге болады, деформация жасау оңай емес.

Кемшіліктері: желдеткіш тәрізді жұмсақ губкаларды өңдеу оңай емес.

Мандрельдегі қатты қысқыш



8-сурет – Қатты оправка

Конустық мандрель қысқышын пайдаланып, бөлік конустық мандрельді өңдеу кезінде тікелей орнатылады.

Цилиндрлік мандрель қысқышы, онда бөлік өстік қысу арқылы мандрельге бекітіледі. Бөліктің радиалды деформациясын азайтыңыз.

Артықшылықтары: бөлшектерді оңай жүктеу және түсіру, жоғары концентрацияны, техникалық талаптарды қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Кемшілігі: бөліктің ішкі саңылауы мандрельмен сызылған.

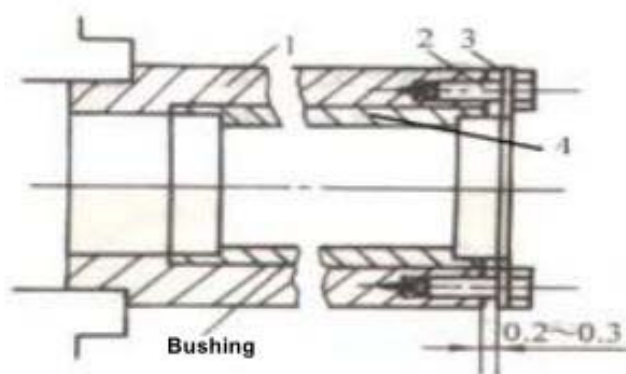
Магниттік қысқыш

Бөлшектер картриджге магнитті түрде бекітіледі және бөлшектер радиалды емес, тек өстік күшке ұшырайды.

Артықшылығы: бөліктің ішкі және сыртқы шеңберін бір уақытта өңдеуге болады.

Кемшіліктері: қажетті бөлшектерді таңдау қиынырақ, қолдану аясы аз, түсті металдардан жасалған бөлшектерді өңдеуге жарамайды.

Өстік қысқышты пайдалану: жұқа қабырғалы бөлшектерді бұру кезінде радиалды қысқышты пайдаланбаңыз, бірақ өстік қысу әдісін таңдаңыз. Бөлшектер өстік қысқышқа жету үшін өстік позициялау гильзасының ұшына сүйенеді, өйткені бөлшектер бойымен қысу күшінің өстік таралуы және бөліктердің өстік қаттылығы қысқыштың деформациясын тудырмайды.

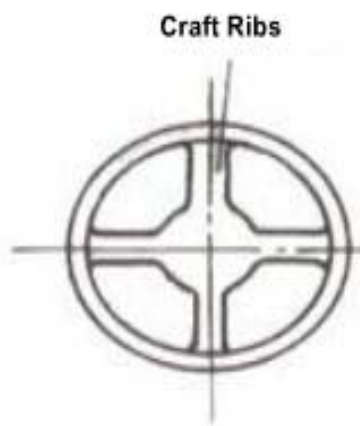


9-сурет – Өстік қысқыш

Артықшылықтары: кішкене деформация бөлігі, жақсы өңдеу сапасы.

Кемшіліктері: күрделі технологиялық жүйе, құрылғының қолданылу аясы аз.

Ұзартылған қабырғаны үлкейту кейбір жұқа қабырғалы бөлшектердің қысқыш бөліктерінде қаттылықты арттыру үшін арнайы жасалған бірнеше технологиялық қабырғалар болуы мүмкін, осылайша қысқыш күші өңдеуден кейін бөлшектердің деформациясын азайту үшін технологиялық жиекке әсер етеді, содан кейін технологиялық жиекті алып тастайды.

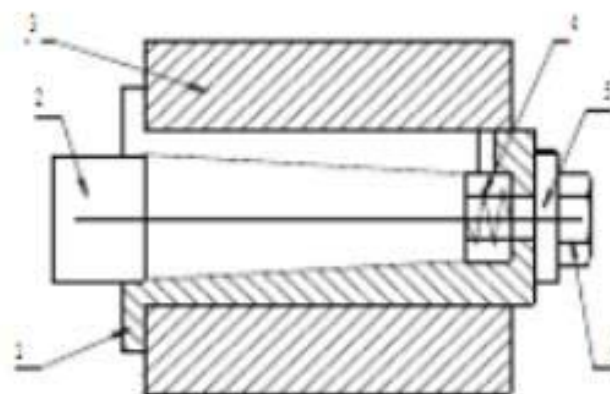


10-сурет – Өңдеу шеттері

Артықшылықтары: бөліктің қаттылығын арттырады және қысым деформациясын азайтады.

Кемшіліктері: үлкен көлемді өңдеуге жарамайды.

Көтергіш мандрельмен қысқыш: 11-суретте көрсетілгендей, дайындама позициялау нұсқаулығы ретінде иілгіш мандрельдің сыртқы шеңбері бойымен қысылады, ал иілгіш мандрельдің өстік қозғалысы қысқыш бұрандаларды қатайту немесе босату арқылы жүзеге асырылады. Қатты мандрель мен серпімді мандрель арасындағы сәйкестік конустық сәйкестік болғандықтан, дайындаманың радиалды қысқышына немесе қысқышына жету үшін өстік бағытта қозғалған кезде серпімді мандрель радиалды бағытта кеңейеді немесе кішірейеді.



11-сурет – Жұқа қабарғалы бөлшек өңдеуі

Артықшылықтары: біркелкі емес тесік өлшемі және төмен құны бар сериялық бөлшектерді өңдеу үшін өте қолайлы.

Кемшіліктері: жоғары дәлдік талаптары бар бөлшектерді өңдеуге жарамайды.

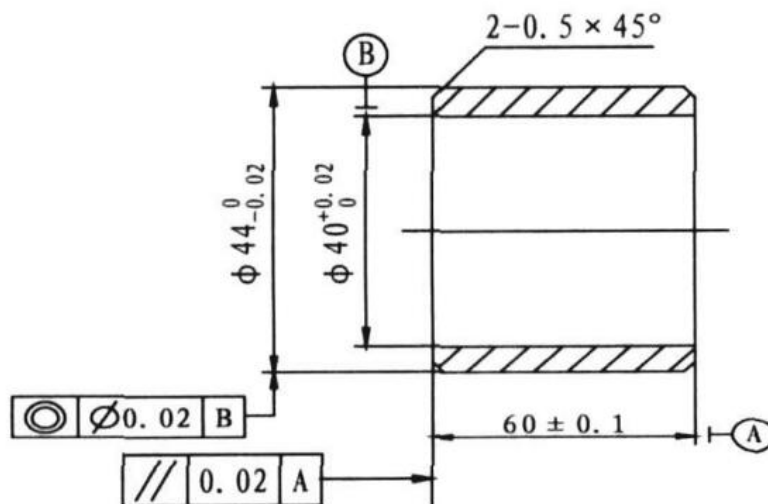
Таңдау қабырға бөлшектерін бұру процесі

Жіңішке қабырғалы бөлшектерді токарлық өңдеу, әдетте, өрескел өңдеу және бөлек өңдеу, дөрекі өңдеу, содан кейін термиялық өңдеу. Күрделі пішінді және жоғары дәлдік талаптары бар кейбір бөлшектер үшін кедір-бұдыр деформациясын бірте-бірте түзету, геометриялық пішін мен өлшемнің дәлдігін бірте-бірте жақсарту үшін өрескел өңдеу мен өңдеу арасындағы жартылай өңдеу процесін арттыру қажет. Дәл сол анықтаманы пайдаланған кезде, дайындаманы жартылай өңдеу және өңдеуден кейін дайындаманы өңдеуді аяқтамас бұрын босатуға және бос күйге оралу үшін аздап айналдыруға болады, содан кейін өңдеуді аяқтау үшін дайындаманы қысу керек, бұл да мақсатқа жетуі мүмкін деформацияны түзету. Бұл ретте бекітпелерді пайдалану жұқа қабырғалы бөлшектердің сапасын қамтамасыз ету үшін қысу және токарлық өңдеу кезінде дайындаманың деформациясын азайтуы керек.

Алдымен ішкі тесік, содан кейін сыртқы шеңбер бойын кесу керек. Тесікті өңдеу сыртқы шеңберге қарағанда қиынырақ болғандықтан, деформация жасау оңай. Алдымен ішкі тесікті өңдеу, содан кейін сыртқы шеңберді өңдеу арқылы өңдеу кезінде бөлшектерді өңдеу дәлдігінің әсерін болдырмау үшін тесікті орналастыратын өстік қысқыштың ішіндегі оправка қысқышын пайдалануға болады.

Негізгі операция аяқталғаннан кейін осы өлшемдегі қажетті өңдеуді аяқтау үшін бір қысқышта негізінен бар материалын дайындауда немесе үстелдің жұқа қабырғалы бөліктерін өңдеу процесінде қолданылады.

Жұқа қабырғалы бөлшектерді өңдеу мысалы:



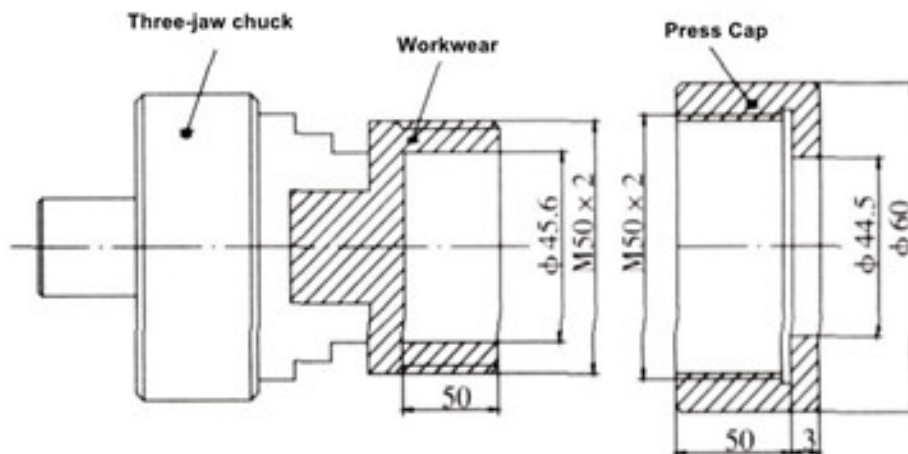
12-сурет – Жұқа қабырғалы білік

Жұқа қабырғалы втулка (12-суретте көрсетілген), шағын өндіріс, 2А12 материалы (қатты алюминий), сыртқы шеңбер **диаметрі** $44_{-0.02}^{0}$ мм және тесік диаметрі $40_{0}^{+0.020}$ мм, коаксиалдылық талаптары 0,02 мм, екі ұшының параллелизмі 0,02 мм. егер бұл бөлік бір уақытта өңделсе, деформация өте үлкен, сондықтан ішкі қадамдар келесідей:

1 штанга үш камералы орталықтандырғыш патронға қысылады, бір ұшы 38 мм бұрғылаумен бұрғыланады, ішкі тесік 39 мм-ге дейін бұралған, сыртқы шеңбер $45,50_{-0.03}^{0}$ мм-ге дейін бұралған, кесу-ұзындығы 60,5 мм, сыртқы диаметрі 0,05 мм (орналастыру үшін).

2 өрескел токарлық өңдеу аяқталғаннан кейін, термиялық өңдеу кезінде қартаю процесіне өтіңіз, үш жұмсақ центрлік картриджге қысқаннан кейін, бір ұшында 60,15 мм жалпы ұзындығын қайраңыз; содан кейін 50 мм ұзындықтағы бұрғылауды бұрап, бұрғылау ұшын қайраңыз, бұрғылау мен бөліктің сыртқы шеңберін біріктіріңіз. Ішкі тесікті өңдегеннен және түсіргеннен кейін оны қатайтуға болмайтынын немесе тесіктің бөліктері деформацияланатынын ескеріңіз, себебі бөліктің сыртқы шеңбері дөңгелек емес.

3 сыртқы шеңбердің құралы (11-суретте көрсетілгендей) M50x2 мм сыртқы жіпті таңдау үшін, ұзындығы 50 мм, ішкі тесік 45,6 мм, ұзындығы 50мм, содан кейін қысым жасау үшін тарау, M50x2 мм ішкі жіп, ұзындығы 50мм. қысым қақпағының сыртқы диаметрі 60 мм, илектеу, жалпы ұзындығы 53 мм, қысым қақпағының ішкі диаметрі 44,5 мм.



13-сурет – Жабдықтау схемасы

Қабырға бөлшектерін бұру кезінде кесу мөлшерін таңдау

Кесу кезінде кесу күшінің шамасы кері итеруге (A_p) ең үлкен әсер ететінін, кесу жылуына ең үлкен әсер ететін кесу жылдамдығы (V_c) және құралдың өткірлігі екенін бәріміз білеміз. Сондықтан, жұқа қабырғалы бөлшектерді бұру кезінде кері тартуды азайту керек және кесу жылдамдығын азайту керек, сонымен бірге беру мөлшерін көбейткен жөн.

Әрлеу кезінде кесу жылдамдығын азайту үшін машинаның дәлдігі төмендеген кезде үлкен кесу жылдамдығын, аз қоректендіруді (F) қолдану керек.

1-кесте – Жұқа қабырғалы бөлшектерді кесудің дозалық параметрлері (әрлеу)

Бөлшек материалы	Кескіш материалы	Кесу параметрі		
		V , айн/мин	F , мм/айн	A_p , мм
Көміртекті болат	YT15	200-300		
Шыңдалған және босатылған болат	YT15	300-400		
Тот баспайтын болат	15, 8	200-300		

Жұқа қабырғалы бөлшектерді өңдеу кезінде кескіш кескіштің геометрия бұрышын таңдау

Токарлық кескіштің геометрия бұрышы кесу күшіне негізгі ауытқу бұрышы (K_r), алдыңғы бұрыш (γ_0) және жиек бұрышы (λ_s) үлкен әсер етеді. Токарлық құралды өткір ету үшін алдыңғы бұрышты үлкейтіңіз, чиптерді тегіс алып тастаңыз, чиптер мен құралдың алдыңғы беті арасындағы үйкелісті азайтыңыз, кесу күші мен кесу температурасын азайтыңыз.

* Сыртқы токарлық құрал $K_r=90^\circ-93^\circ$, $K_r=15^\circ$, $\alpha_0=14^\circ-16^\circ$, $\alpha_{01}=15^\circ$, γ_0 сәйкесінше көбейтіледі.

* Ішкі тесіктерді әрлеу құралы $K_r=60^\circ$, $K_r'=30^\circ$, $\gamma_0=35^\circ$, $\alpha_0=14^\circ-16^\circ$, $\alpha_{01}=6^\circ-8^\circ$, $\lambda_s=5-6^\circ$.

Жұқа қабырғалы бөлшектерді бұру кезінде пайда болатын дірілді азайту шаралары.

1 Айналымалы және жылжымалы бөліктерді ең дұрыс күйге келтіру үшін токарлық шпиндельдің, тартқыш тақтайшаның, кереуеттің отырғышының, құрал ұстағыштың және жылжымалы бөліктердің саңылауын реттеңіз.

2 Дірілді сіңіретін материалдарды қолданыңыз, бөлшектерді жұмсақ пластикпен, резеңке таспамен, резеңке парақпен, жұмсақ резеңке түтікпен, мақта иірілген жіппен және басқа материалдармен толтырыңыз немесе ораңыз. Дайындама центрифугалық күштің әсерінен айналғанда, резеңке Парақ тесік қабырғасына жақын болады, бұл дірілдің сөнуіне жол бермейді және дірілді азайту және шудың рөлін жою үшін бұрылу кезінде дірілдің берілуіне жол бермейді.

3 Төмен балқу температурасы бар материалмен (мысалы, парафин) төмен балқу температурасы бар материалмен толтырылған, жұқа қабырғалы сынып бөлшектерімен және оправка саңылауымен толтырылған, тек саңылауды сезініңіз, екі ұшы да тығынмен тығыздалған, дірілді азайту үшін ғана емес, сонымен қатар деформацияны азайту үшін.

4 Сына тәрізді мандрелді толтыру әдісі, алюминий сына тәрізді мандрельді қолдану, осылайша сына тәрізді мандрель мен бөлшектер дірілді азайту үшін тығыз орналасады.

Дұрыс салқындату

Жұқа қабырғалы бөлшектерді өңдеу кезінде кесу температурасын төмендету, қызуды азайту және өңдеу дәлдігін жақсарту үшін бөлшектерді деформациялау үшін қолайлы майлау және салқындату сұйықтығын таңдау үшін бөлшектердің әртүрлі материалдарына байланысты жұқа қабырғалы бөлшектерді салқындату керек.

4 Жұқа қабырғалы бөлшекті 3D принтермен басу

4.1 FDM технологиясының жұқақабырғалы бөлшек жасау мүмкіндігі

Алты еркіндік дәрежесі бар 6-призматикалық-сфералық (14-сурет) параллель 3D принтер енгізілді. 6-DOF параллельді 3D принтердің қозғалысты жоспарлау және басқару әдісі ұсынылады. Баспа даналарының тік және ауыспалы-бұрышты басу режимдерінің бет сапасына, кеуектілігіне, шиеленіскен күштілігіне әсері зерттелді. Қиғаш бұрыштары 0 градус, 10 градус, 20 градус, 30 градус жұқа қабырғалы бөлшектер тік басу режимінде және ауыспалы-бұрышты басу режимінде басылды. Баспа режимі мен баспа бөлшектерінің сапасы арасындағы өзара байланыстарды ашу мақсатында үлгілердің үстіңгі кедір-бұдырлығы мен бұрыштық қателері сандық микроскоппен талданып, даналардың ішкі ақауларын микро-рентгендік 3D визуализация жүйесі талдап, даналардың шиеленіскен беріктігін сынады. Алынған нәтижелер даналардың беткі кедір-бұдырлығы бұрыштың ұлғаюымен ұлғайғанын көрсетеді. Тік басу режимінде басылған үлгілердің беттік кедір-бұдырлығы мен бұрыштық қателіктері айнымалы-бұрыштық режимде басылған даналарға қарағанда едәуір жоғары болды. Басудың екі режимінде басылған даналар үшін даналардың кеуектілігі артып, қиғаш бұрыштың күшеюімен шиеленіскен беріктігі төмендеді. Қиғаш бұрышы бірдей үлгілер үшін ауыспалы-бұрышты режиммен басылған даналардың кеуектілігі аз және шиеленіскен беріктігі жоғары болады. Цилиндрлік бетте кеме тәріздес жұқа қабырғалы бөлік ойдағыдай басылып шықты, бұл 6-PSS параллельді 3D принтердің нақты уақыт режимі айнымалы-бұрышты басу режимі өте икемді болғанын көрсетеді.

Жұқа қабырғалы құрылыс — машина жасауда кең тараған құрылыстардың бірі. Жұқа қабырғалы конструкциялар қолданудың кең перспективаларына ие және аэроғарышта, сәулетте, кеме жасауда және басқа да инженерлік салаларда олардың қаттылығы төмендігінен, жоғары дәлдігінен, күрделі пішіндерінен, ауырлығы төмендігінен, сондай-ақ үлкен жүктемелерді көтеру қабілетінен маңызды рөл атқарады. Құйма, штампылау, дәнекерлеу, даярлау сияқты жұқа қабырғалы бөлшектерді жасаудың дәстүрлі әдістері салыстырмалы түрде қарапайым пішінді жұқа қабырғалы құрылымдық бөлшектерді дайындауға жарамды. Құю, штамптау және инъекцияны қалыптауалдымен зең жасауды талап етеді. Құрылымы күрделі қалыптар өндіріс циклі мен құнын арттырады. Термиялық күйзелістен туындаған құрылымдық деформация жұқа қабырғалы бөлшектерді дәнекерлеудегі маңызды проблемалардың бірі болып табылады. Жұқа қабырғалы бөлшектерді даярлау кезінде де материалдардың ысырмалы және күрделі бөлшектерді дайындауға жарамсыздығының кемшіліктері болады.

Үш өлшемді (3D) баспа, сондай-ақ белгілі қоспалар өндірісі— 3D үлгі деректерден бөлшектер жасау үшін материалдарды біріктіру процесі. Жалпы,

материал өндірістің субтрактивті және қалыптасу әдістеріне қарағанда қабат-қабатқа қосылады. Қазіргі уақытта, 3D-баспа модельдерді, прототиптерді, әшекейлерді, құрал-саймандарды, ал өндірістік бөлшектерді пластмассаларда, металдарда, керамикада, шыныда, өндірістік процесс жіңішке қабырғалы құрылымдар үшін. Жұқа қабырғалы металл бөлшектерді дайындау 3D-баспаның маңызды қосымшасы болып табылады. Кейбір 3D-баспа процестері бар, мысалы, лазерлік дебют (LD), селективті лазерлік балқыту (SLM), электрон сәулесінің еруі (EBM), және дәнекерленген негіздегі 3D-баспа, жұқа қабырғалы металл бөлшектерді дайындауға арналған [[9], [10], [11], [12], [13], [14]]. Лазерлік қаптама және дәнекерлегіш негізіндегі 3D-баспа материалдарды сақтауға және дайындау уақытын едәуір қысқартуға мүмкіндік беретін ірі жұқа қабырғалы металл бөлшектерді дайындау мүмкіндігінің артықшылықтарына ие. SLM және EBM салыстырмалы түрде шағын өлшемді және күрделі ерекшеліктері бар жұқа қабырғалы металл бөлшектерді жасауда артықшылықтарға ие. Стереолитография (CL), селективті лазерлік синтерлеу (SLS), қабатты нысандарды дайындау (LOM), жарықты сандық өңдеу (DLP), және балқытып қабаттап модельдеу (FDM) барлығы металл емес материалдардың жұқа қабырғалы бөлшектерін дайындау үшін пайдаланылуы мүмкін.

Басқа 3D-баспа процестерімен салыстырғанда FDM құны төмен және салыстырмалы түрде жұмыс істеуі қарапайым. FDM әр түрлі материалдардан жасалған бөлшектерді бірнеше саптама арқылы басып шығару үшін де, композиттік жіптерді пайдалана отырып, композициялық бөлшектерді басып шығару үшін де пайдалануға болады. FDM принтерлерінің көпшілігі 2,5 өлшемді сандық басқару жүйелерін пайдаланады, яғни бір қабаттың екі өлшемді (2D) басып шығаруын аяқтағаннан кейін саптама бір қабат қалыңдыққа көтеріледі (немесе жұмыс тақтасы төмен түседі), содан кейін келесі қабатты 2D-баспа бүкіл бөлік қабатпен қабаттап жиналғанша жүзеге асырылады. Біркелкі кату процесінде шығарылатын қадамдық эффект бөлшектердің пішін қателерін тудырады. Бұдан басқа, үлкен қисайту бұрыштары бар бөлшектерді басып шығару кезінде бөліктің құлауын болдырмау үшін тірек қажет. Кейбір жағдайларда тірек оңай жойылмайды. Мысалы, тірек тығыз аралығы бар жұқа қабырғалы құрылымның ортасында орналасқанда, тірек оңай алынбайды, сонымен қатар тіреуді алып тастау кезінде қима бетінің зақымдану қаупі де туындайды.

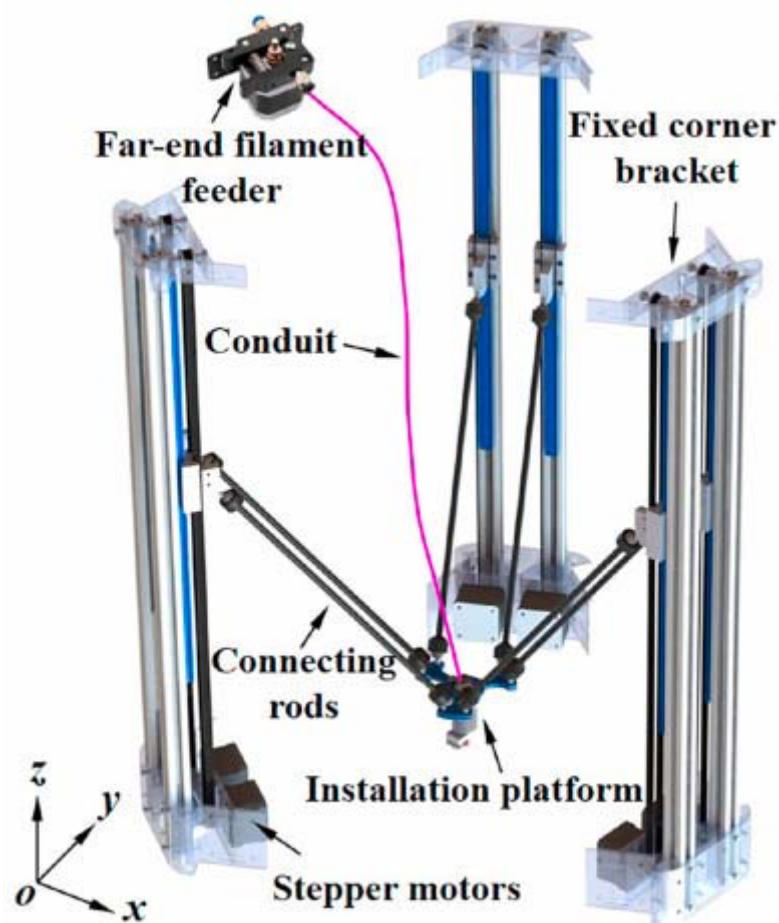
Көп дәрежелі еркіндік (DOF) 3D-баспа адымдық әсерді азайтудың және тірек құрылымын болдырмаудың немесе азайтудың тиімді әдісі болып табылады. Дәстүрлі 3D принтерлер үш DOF бар және X, Y және Z бағыттарында қозғала алады. Екі ротациялық DOF бар CNC позициясын қосу бес DOF бар 3D принтерді қалыптастырады.

Бұдан басқа, 6-DOF 3D-баспаті саптама немесе жұмыс үстелін қысу үшін 6-DOF робот қаруын пайдалану арқылы іске асыруға болады. Параллель механизмнің әр түрлі артықшылықтары бар, оның ішінде ықшам құрылым, жоғары қаттылық, кішігірім қозғалыс инерциясы бар. Коммерциялық

параллель FDM 3D принтерлерінің көпшілігінде де үш DOF бар, ал үштен астам DOF-ты позициялаушы қосу арқылы басып шығаруға болады. 6-DOF 3D принтері тікелей параллель механизм арқылы іске асуы мүмкін. Негізгі платформаның айналуы арқылы көп DOF қолдау көрсетілмейтін құрылымдарды басып шығаруды аяқтау үшін айналмалы платформасы бар қосарлы параллель 3D принтерді ұсынды. [18] Екі манипулятордың көмегімен тірексіз дәл жұқа қабықшалы бөлшектерді тұрғызу үшін 3-DOF платформасын және 3-DOF экструзия құралын пайдаланды. Ән және т.б. [9] кез келген еркін қисықты басып шығара алатын Стюарт механизмі негізінде FDM үшін арзан көп DOF 3D принтер жасап шығарды, бірақ жұмыс кеңістігі аз.

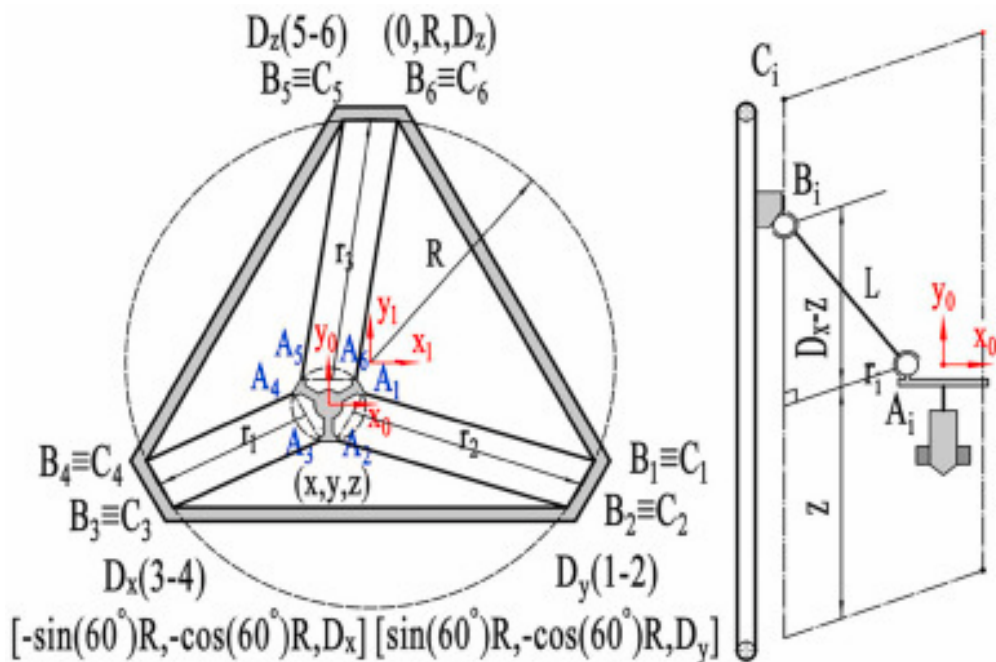
6-DOF параллельді 3D принтердің құрылымы дәстүрлі көп DOF принтері (үш өс + екі айналу өсі) және робот негізіндегі көп DOF 3D принтерімен салыстырғанда едәуір қарапайым. Бұл жұмыста 6-PSS параллель 3D принтері ұсынылып, осы параллель 3D принтердің қозғалысты жоспарлауы зерттелді. 6-DOF полиграфиясын іске асыра алатын айнымалы-бұрышты басу режимі дәстүрлі тік басу режимімен салыстырылды. Екі басу режимімен басылған қиғаш бұрыштары әр түрлі даналардың полиграфиялық сапасын талдау арқылы беттік кедір-бұдырлық, бұрыштық қателік және ауыспалы бұрышты басу режимі бойынша дайындалған даналардың кеуектілігі тік басу режиміндегіден төмен, ал шиеленіскен беріктігі анықталды. Тік басу режиміне қарағанда жақсырақ болды. Көп еркіндікті басу кезінде 6-DOF параллель принтердің артықшылықтарын көрсететін цилиндрлік бетте кеме тәріздес жұқа қабырғалы бөлікті басып шығару үшін нақты уақыт режимі қабылданып отырды.

14-суретте 6-DOF параллельді 3D принтердің механикалық құрылымын осы жұмыста алты DOF бар көрсетеді. Бұл 6-DOF параллель механизмі алты параллель болған жалғастырғыш өзектер ұзындығы бірдей, ал шар шарикті шарнирлер жалғаушы өзекшелердің екі шетіне де орнатылды. Әрбір жалғастырушы шыбықтың бір ұшы саптама орнату үшін орнату платформасына қосылса, екінші ұшы тігінен қозғалатын жүгірткіге қосылған. Алты жүгірткіні алты жүгірткі басқардысатылы моторлар арқылы синхронды белдеулер. Әрбір жүгірткінің қозғалысын бақылау арқылы орнату платформасы саптаманың 6-DOF қозғалысын басқару үшін жалғаушы штангалармен қозғалуы мүмкін. Жіппен қоректендірудің шеткі режимі қолданылды, ал шеткі жіп қоректендіргіш кондуктор арқылы саптамаға полилактикалық қышқыл (PLA) жіп жіберді. Алтыдала моторлары жүгірткіні және жіп фидерін басқаратын тағы бір дала моторын жүргізу сегіз өсті қозғалысты басқару картасымен басқарылды.



14-сурет – Алты дәрежелі еркіндік параллель механизмі

Басылуға тиіс бөліктің геометриясы Картезиан координаталары жүйесі, бірақ саптама Дельта координаталар жүйесінде қозғалған. Әрбір жүгірткі арқылы қозғалатын қашықтық пен жылдамдықты есептеу арқылы басқару қажет болатын саптаманың қозғалысы кері кинематика және акеңістік координатасы трансформация. Параллель механизмнің жоғарғы жазықтығы статикалық жазықтық ретінде белгіленді, ал саптама орнату платформасында шардың сфералық орталығы аспалы жазықтық динамикалық жазықтық ретінде белгіленді. Статикалық және динамикалықтік бұрышты координата жүйелері құрылды [20]. 6 дәрежелі еркіндік параллель жүйесінің координаттық түрленуі көрсетілген.



15-сурет – 6-призматикалық-сфералық-сфералық параллель жүйенің координаталық түрленуі

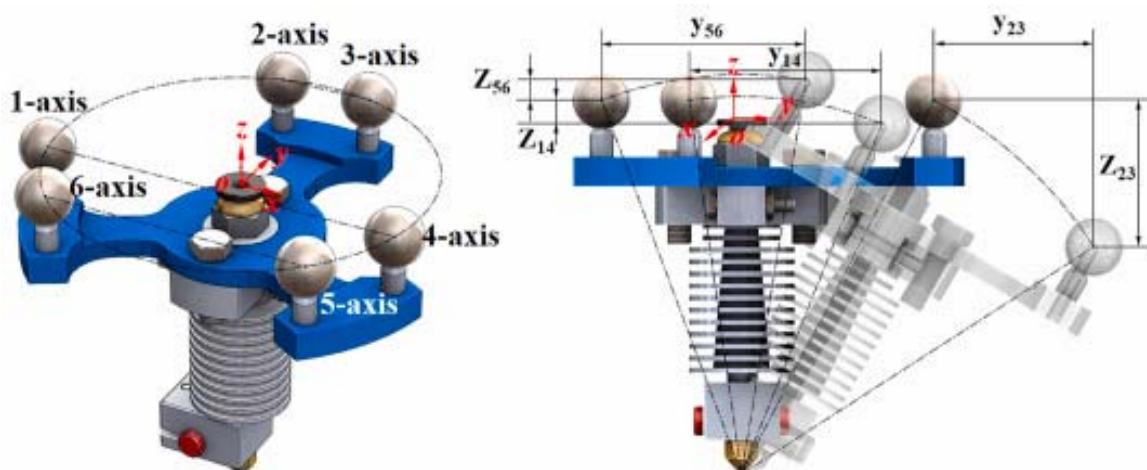
1, 2, және 3 — шар ортасының тік өстен арақашықтығы; x , y , және z — картездік координаттар жүйесіндегі экструдер басының ұшындағы шар орталығы нүктесінің нақты уақыт режиміндегі позиция координатасының мәндері; x , y , және z — картездік координаттар жүйесіндегі экструдер орнату платформасындағы шар топсасының сфералық орталығының нақты уақыт режиміндегі координаттары; және Dx , Dy және Dz — дельта координаталары жүйесіндегі тиісті жүгірткінің нақты уақыт режиміндегі координаттары.

4.2 Экструдердің басының бұрышын өзгерту механизмі

Үш дәрежелі еркіндік бар дәстүрлі FDM 3D принтерінің саптамасы әрқашан баспа кезінде ошаққа перпендикуляр болады. Күрделі бөлшектерді көп DOF басу үшін саптаманың кеңістіктік қалпын нақты уақыт режимінде түзету қажет. Саптаманың осі әрқашан басу процесі кезінде басу бөлігінің ток нүктесінің қалыпты жағдайымен сәйкес болуы тиіс. Сондықтан шар шарнирінің сфералық орталық координаталарын координаттық түрлендіру үшін саптама бұрышын реттеу механизмі және саптаманың кеңістіктік қалпын нақты уақыт режимінде реттеу үшін қозғалысты жоспарлау әдісі ұсынылады.

Саптама бұрышын өзгертудің түрлендіру процесі 16-суретте көрсетілген. X-өс айналасындағы айналу қозғалысы мысал ретінде қарастырылады. Бұру орталығы ретінде саптаманың сауда нүктесі орнатылады. 1-өс және 4-өс, 2-өс және 3-өс, ал 5-өс пен 6-өс үш топты қалыптастыруға қосылған. Одан кейін шар шарнирлерінің әрбір тобының ортасына сәйкес келетін координаталардың айырмашылықтары негізгі бұрыш өзгергеннен кейінгі күйлерде және бұрыштың өзгеруіне дейін Теңдеуге

енгізіледі, алу үшін (Dx , Dy , Dz). Негізінде 2-кесте, есептелген деректер қозғалысты басқару картасының қозғалыс режимімен біріктіріледі, яғни ((өс, пос, уақыт) = (өс, Dx , y , Z (1-6 өс), уақыт)), содан кейін басқару деректері қозғалысты басқару картасының кәшіне қосылады. Қозғалысты басқару карточкасы алты жүгірткінің қозғалысын бақылау үшін дала моторларына импульстік нөмірді және бағыт ақпаратын шығарады, содан кейін саптаманың кеңістіктік қалпын нақты уақыт режимінде түрлендіруді іске асыру үшін алты жалғастырушы штангаға жетектейді.



16-сурет – Кеңістіктік бұрыш түрленуінің схемалық диаграммасы

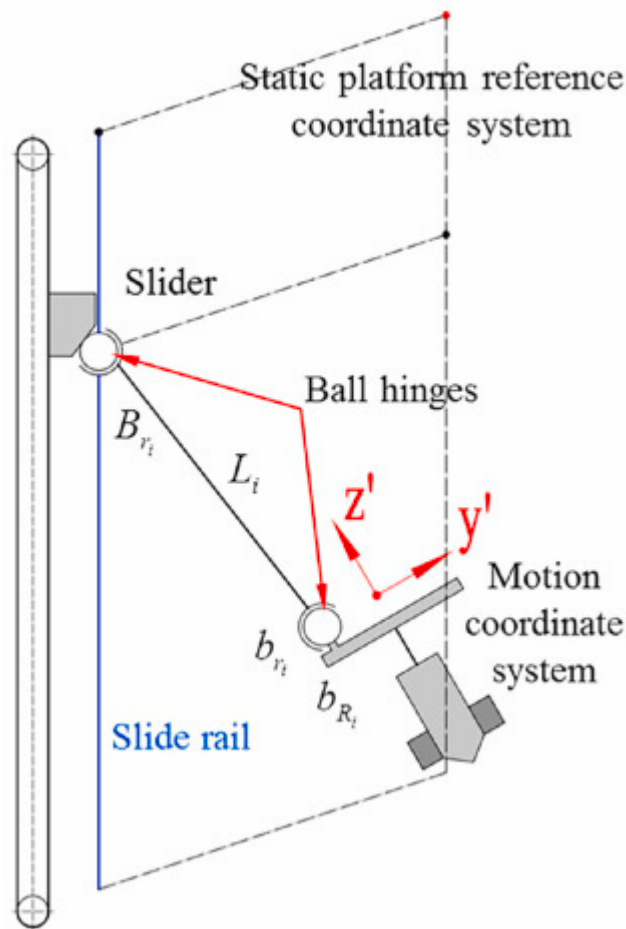
2-кесте – Экструдер бұрышын түрлендірудің деректер параметрінің мәндері

Жүйе параметрлері	Картезиан координаталары жүйесі			Delta координаталар жүйесі		
	x	y	z	Dx (3-4 өс)	Dy (1-2 өс)	Dz (5-6 өс)
L, R	0	56	$Z56$	–	–	Dz (5-6 өс)
	0	14	$Z14$	Dx (4 өс)	Dy (1 өс)	–
	0	23	$Z23$	Dx (3 өс)	Dy (2 өс)	–

4.3 Экструдер басының кеңістіктік жағдайын өзгерту және қозғалысты жоспарлау

6-DOF параллель механизмінің кері кинематикасы шүмектің кеңістіктік жағдайын түрлендіруді және қозғалысты жоспарлауды жүзеге асыру үшін анықталады. Шар шарнирінің сфералық орталығының кеңістік координаталары және саптама бұрышының вариация механизмі бойынша 6-DOF механизм кеңістіктік орналасуы мен қозғалысты жоспарлау іске

асырылуы мүмкін. Мысал ретінде бір тармақты тізбекпен экструдердің кеңістіктік жай-күйінің өзгеруін қозғалысты жоспарлау көрсетілген.



17-сурет – Алты DOF-тың көмегімен қозғалады

Косинустар матрицасы мен теңдеулері бағытымен біріктірілген саптама жылжыған кезде жүгірткінің жоғары және төмен жылжу қашықтығын келесі теңдеумен есептеуге болады. P_0 — статикалық платформаға қатысты қозғалатын платформаның қозғалысы, B_{r_i} — статикалық платформаның эталондық координаттар жүйесіне қатысты жүгірткі шар шарнирінің кеңістіктік координатасы, B_{R_i} — статикалық платформаның эталондық координаттар жүйесіне қатысты қозғалатын платформаның саптама ұшындағы шар шарнирінің кеңістіктік координатасы, B_{r_i} — қозғалыс координаттары жүйесіне қатысты қозғалатын платформадағы шар шарнирінің кеңістіктік координатасы және жалғаушы шыбықтың ұзындығы болып табылады.

4.4 Бір қабырғалы қабырғалы бөлікті морфологиялық талдау

Қиғаш жіңішке қабырғалы полиграфия

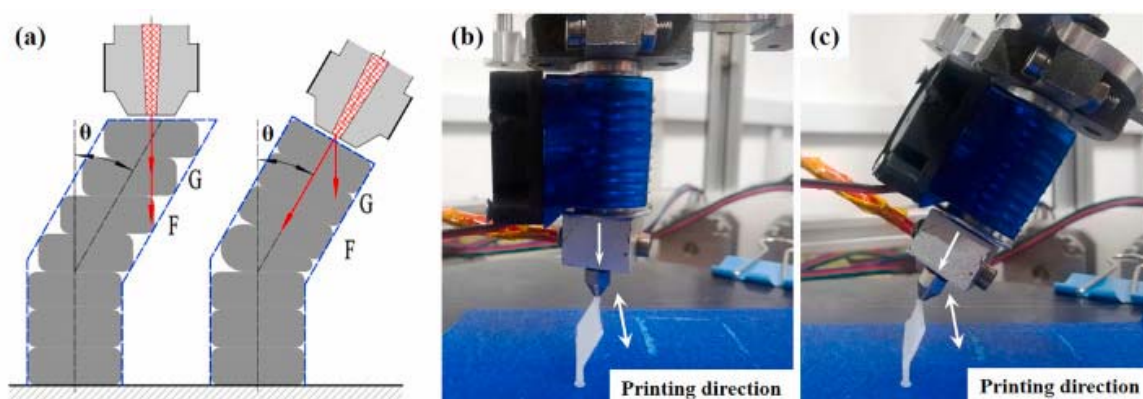
STL пішімі - физикалық бөлшектерді құру үшін 3D принтерлер қолданатын 3D үлгі деректері үшін ең жиі қолданылатын файл пішімі. STL

пішімі нысанның пішінін шамамен алу үшін үшбұрышты қырларды пайдаланады. Беттерді 3D басып шығару әр түрлі бейімділік бұрыштары бар көптеген ұсақ беттерді басып шығаруға барабар. Сондықтан алдымен қиғаш жіңішке қабырғалы бөлшектердің баспасын зерттеу қажет.

Басып шығару процесінің параметрлері 2-кестеде көрсетілген. Баспа материалы ретінде диаметрі 1,75 мм PLA жіп пайдаланылды. Көрсетілгендей 18-суретте екі басу режимі, тік басу (18,b-сурет) және ауыспалы-бұрышты басу (18,c-сурет), салыстырды. Ас-басылған қиғаш жіңішке қабырға бөлшектерінің бұрышын өлшеу үшін бастапқыда биіктігі 4 мм тік жұқа қабырға басылып, содан кейін қиғаш жұқа қабырғаларды басу жалғасты. Қиғаш бұрыштары 10 градус, 20 градус, 30 градус. Бейімделген бөлігі баспа кезінде қолдау көрсетілмеген.

3-кесте – Басу процесінің параметрлері

Процесс параметрлері	Мәндер
Басып шығару температурасы, °C	210
Саптама диаметрі, мм	0,6
Қабат қалыңдығы, мм	0,4
Басып шығару жылдамдығы, мм/с	10
Жіппен қоректену жылдамдығы, мм/с	1,2

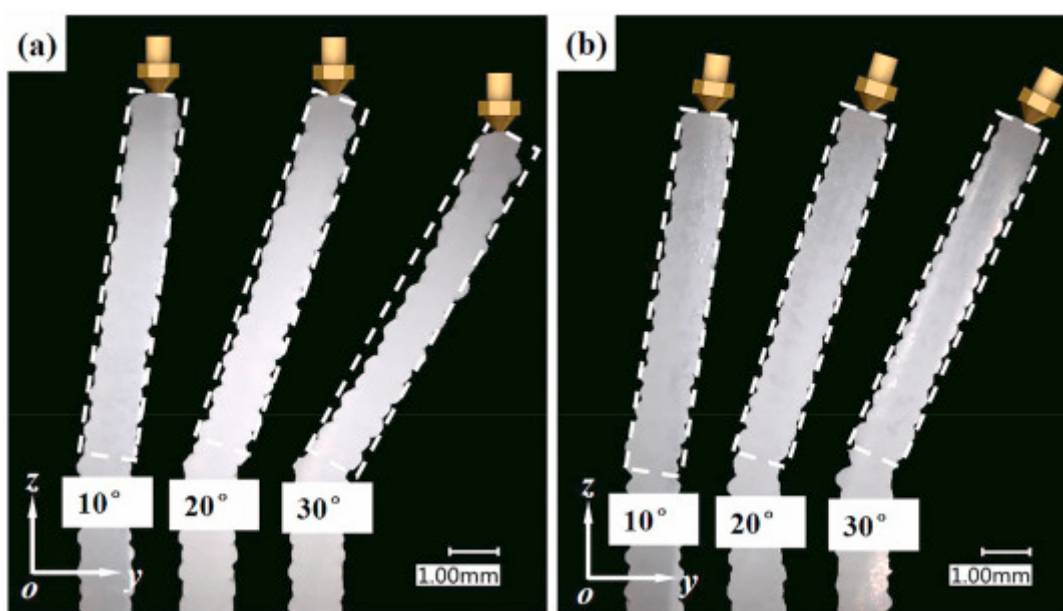


а) басу режимдері, б) тік басу, с) ауыспалы-бұрышты басу
18-сурет – Басу режимдерін салыстыру

Беттік морфологияны талдау

Тік басу режимін қолданған кезде саптамадан шығарылған балқытылған материал әрқашан көлденең жазықтыққа перпендикуляр болады. Жұқа қабырғалы бөлшектерді горизонталь жазықтыққа перпендикуляр басып шығару кезінде экструзивті материал алдыңғы қабатты толығымен жапқан. Жоғарғы қиғаш бөлігін басып шығарғанда, экструзивті балқытылған материал төменгі қабатпен толықтай тіреле алмады, ал оның бір бөлігі ілініп тұрды.

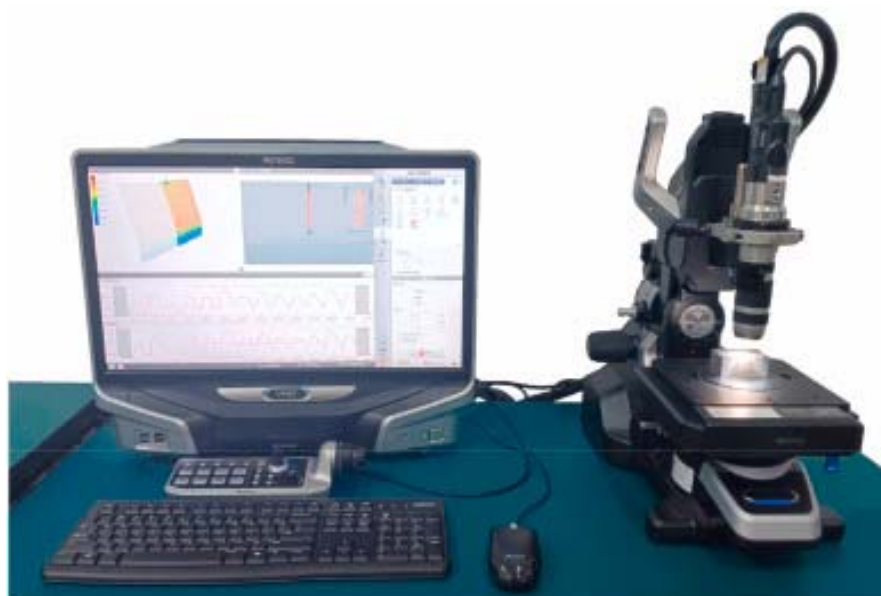
Экструдирленген материалдың қысымымен балқытылған материал төмен қарай ағып, жұқа қабырғалы бөлшектердің беттерінің жалпақтығына әсер етеді. Айнымалы-бұрышты режимде қиғаш бөлікті басып шығарғанда саптама осінің қиғаш бұрышы қиғаш жазықтықтың бұрышымен бірдей болды. Экструзивті балқытылған материал саптаманың тік басу режимінде шамадан тыс ағынсыз алдыңғы қабатты толығымен жауып тастаған. **6 еркіндік дәрежелі** басу режимінде басып шығару кезінде үш түрлі бұрышпен жұқа қабырғалы бөлшектердің көлденең қималарын көрсетеді. Қиғаш бұрыштың ұлғаюымен жіңішке қабырғалы бөлшектердің беттері барған сайын дөрекі болып, көлденең ені де біртіндеп азайып кетті. Айнымалы-бұрышты басу режимінде үш бұрышта жұқа қабырғалы бөлшектердің көлденең пішіндері өте тұрақты болды, ал басу сапасы тік басу режиміндегіден едәуір жоғары болды **(19,b-сурет)**.



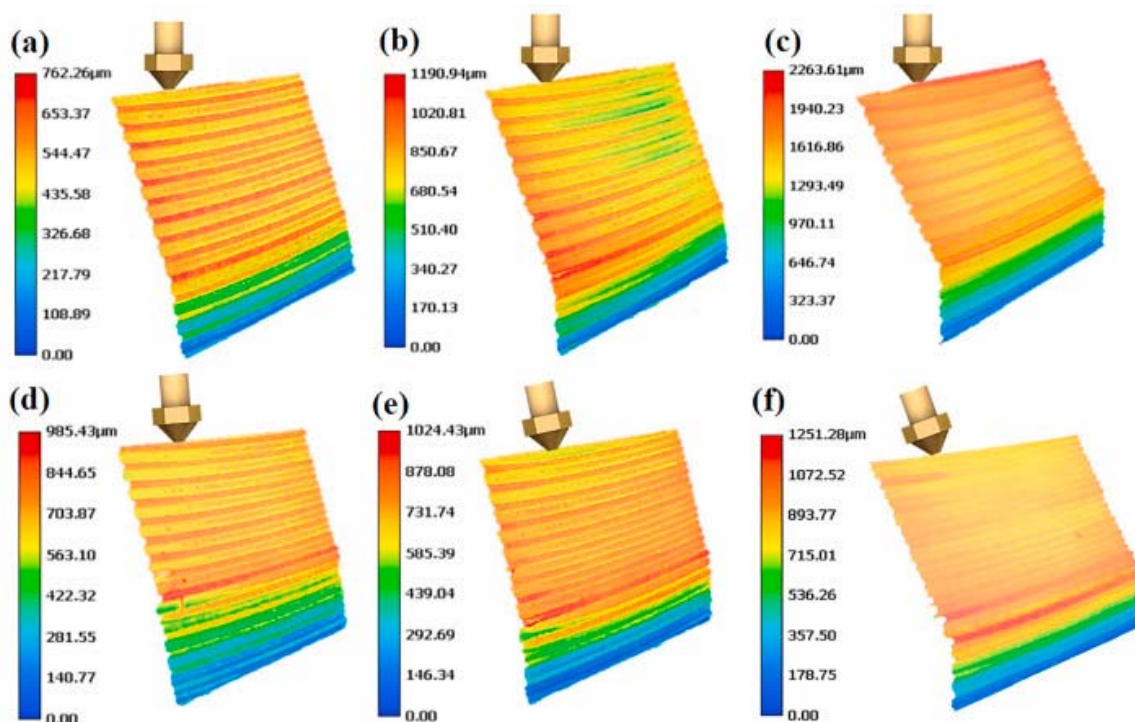
а) тік басу, б) ауыспалы-бұрышты басу

19-сурет – Екі басу режиміндегі көлденең **морфологияларды салыстыру**

19-суретте көрсетілгендей, екі баспа режимінде басылған жұқа қабырғалы бөлшектердің қиғаш беттері сандық микроскоппен 20-суретте (VHX-6000, KEYENCE, Жапония) талданып, қиғаш беттің беткі кедір-бұдырлығы мен нақты қиғаш бұрышы өлшенді. Көрсету беттік топографияларсандық микроскоптың көмегімен қайта жаңғыртылған жұқа қабырғалы бөлшектерден қиғаш беттердің кедір-бұдырлық мәндері өлшенді.



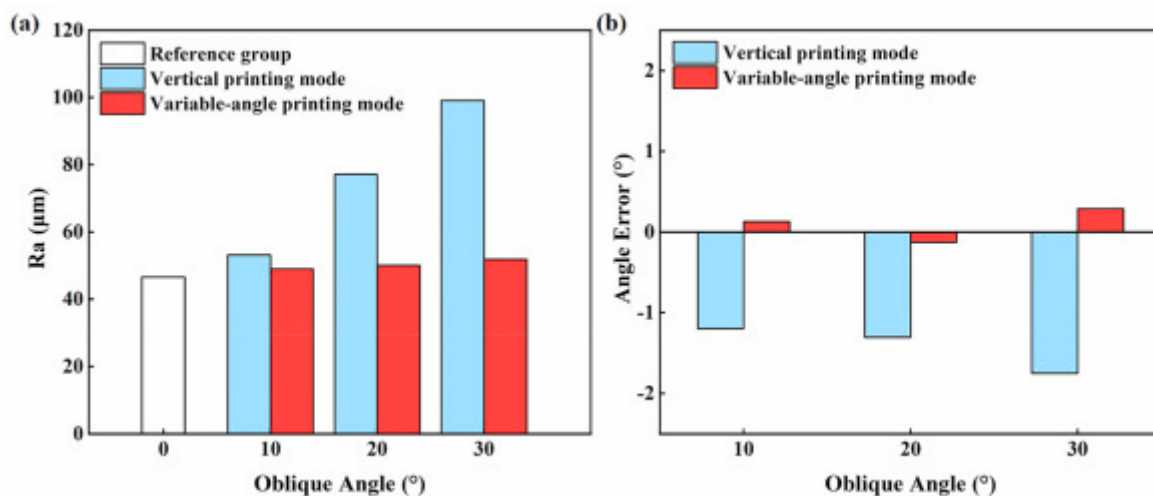
20-сурет – Беттік сапаны талдау



21-сурет – Тік басудың беткі топографиялары: а) 10° , б) 20° , ал с) 30° , ал ауыспалы бұрышты басудың беттік топографиялары: d) 10° , е) 20° , f) 30°

Өлшеу нәтижелері 21-суретте көрсетілген: а) Тік басу режимінде жасалған үлгілер үшін қиғаш бұрышты ұлғайта отырып, беттік кедір-бұдырлық артады. Даналардың қиғаш бұрышы 0 градустан 30° градусқа дейін ұлғайған кезде даналардың беткі кедір-бұдырлығы 112,78 пайызға ұлғаяды. Керісінше, ауыспалы-бұрышты басу режимінде басып шығару кезінде беттік кедір-бұдырлықтың өзгерісі салыстырмалы түрде аз болады. Даналардың

қиғаш бұрышы 0 градустан 30 градусқа дейін ұлғайған кезде даналардың беткі кедір-бұдырлығы 11,38 пайызға ұлғаяды.



а) кедір-бұдырлық, б) бұрыш қатесі

22-сурет – Басудың екі режимінің баспа қасиеттерін салыстыру

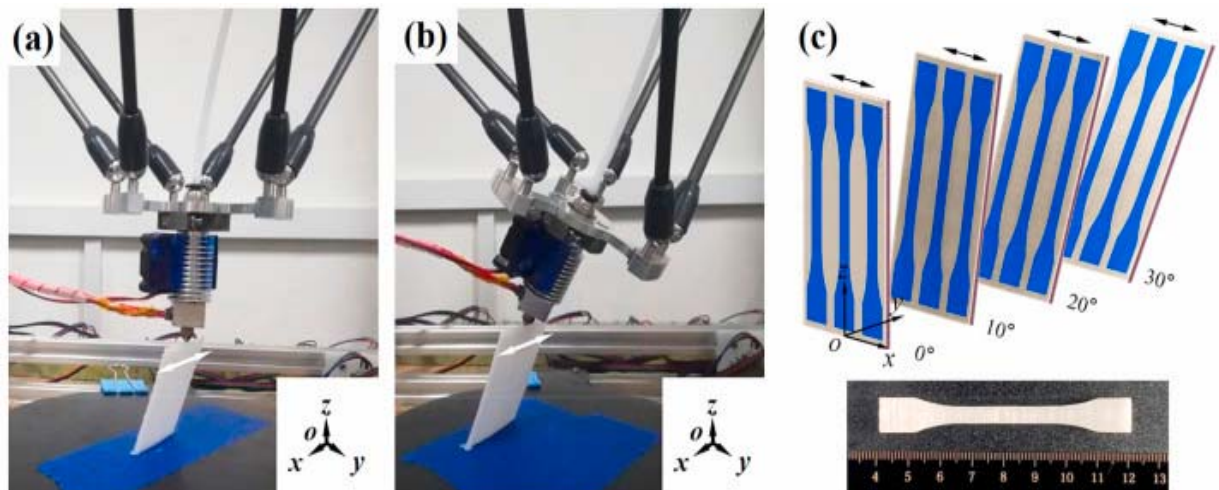
22-суретте екі басу режимімен басылған жұқа қабырғалы бөлшектердің бұрыш ауытқуын салыстыруды көрсетеді. Тік басу режимінде басылған жұқа қабырғалы бөлшектердің қиғаш бұрыштарының қателігі үлкен. Қиғаш бұрыштың ұлғаюымен бұрыш қателігі артты. Қиғаш бұрыш 30 градус болған кезде қателік 5,83 пайыз. Ауыспалы-бұрышты басу режимінде басылған иілген жұқа қабырғалы бөлшектердің бұрыштық қателері өте аз болды, ал ең жоғары қателік 0,96 пайызды құрады. Ауыспалы-бұрышты басу кезінде экструзивті материалдың күшінің бағыты да қиғаш жұқа қабырғалы бөліктің биіктік бағытына параллель болды, ал экструзивті материал алдыңғы қабатқа біркелкі жабылды. Алайда, тік басу режимінде балқытылған материал экструзия күші мен экструзияланған материалға ауырлық күшінің әсерінен оңай ағады, соның нәтижесінде қиғаш жұқа қабырғалы бөлшектер деформацияланады, ал нақты бұрыш конструкция бұрышынан әлдеқайда өзгеше болады.

Басудың екі режимімен басылған қиғаш бөліктердің беттік сапасы мен қисық бұрыштық қателері бойынша айнымалы бұрышты басу режимі қисық сызықты бет бөліктерін 3D-баспа үшін неғұрлым қолайлы, ал саптама бұрышы нақты уақыт режимінде қисық сызықты беттің пішініне қарай реттелуі тиіс.

4.5 Көп жолақты қиғаш жіңішке қабырғалы бөлшектердің өнімділігін талдау

Олардың ішкі ақауларын талдау үшін бұрыштары 0 градус, 10 градус, 20 градус, 30 градус төрт дана басу үшін екі басу режимі іріктеліп алынды және шиеленіскен күшті жақтары. Басу процесінің үздіксіздігін және тік бұрышты, бірдей басу параметрлерімен даналар өнімділігінің дәйектілігін қамтамасыз

ету параллелепипед өлшемдері $100 \text{ мм} \times 40 \text{ мм} \times 2 \text{ мм}$ бөліктер басылып шығарылды, ал үшеуі тензильді үлгілер ISO 527-2018 (1BA типі) стандартына сәйкес әрбір тік бұрышты параллелепипедті бөліктен кесілген және арнайы кесу бағыттаушы тақтайшасын пайдаланып, 23-суретте көрсетілген. Талдаудың ішкі ақауларын талдау сынамалары дайындалатын тензильді үлгілердің ортаңғы ауданынан ($30 \text{ мм} \times 5 \text{ мм} \times 2 \text{ мм}$) кесілді.

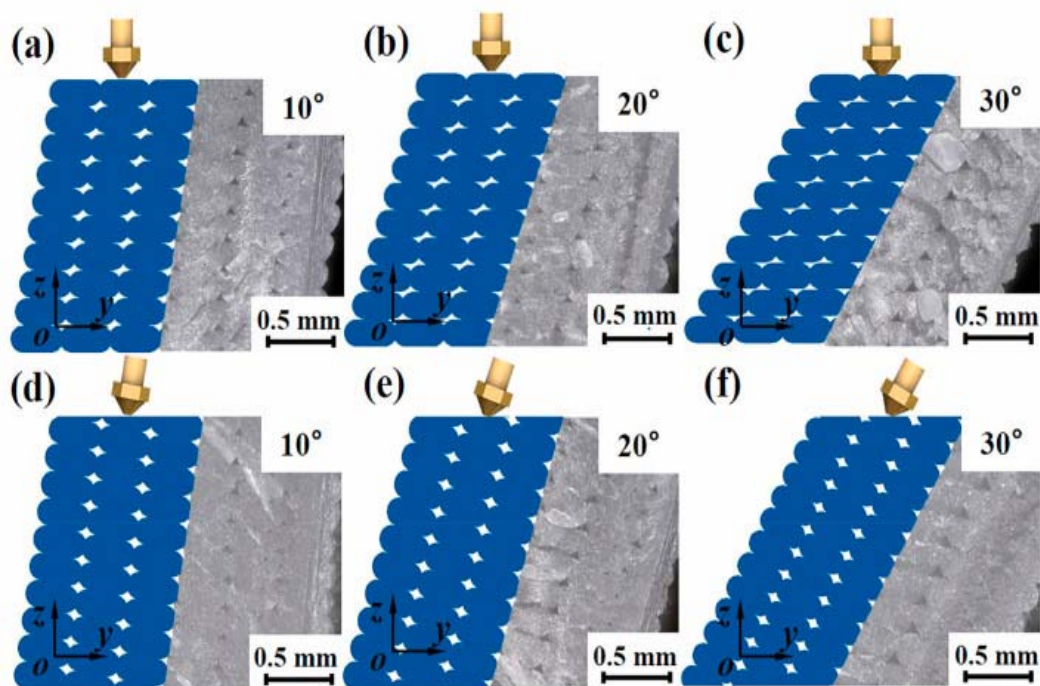


а) тік басу режимі, б) ауыспалы бұрышты басу режимі, в) тензильді даналар

23-сурет – Тензильді даналар

4.6 Үлгілердің ішкі ақауларын талдау

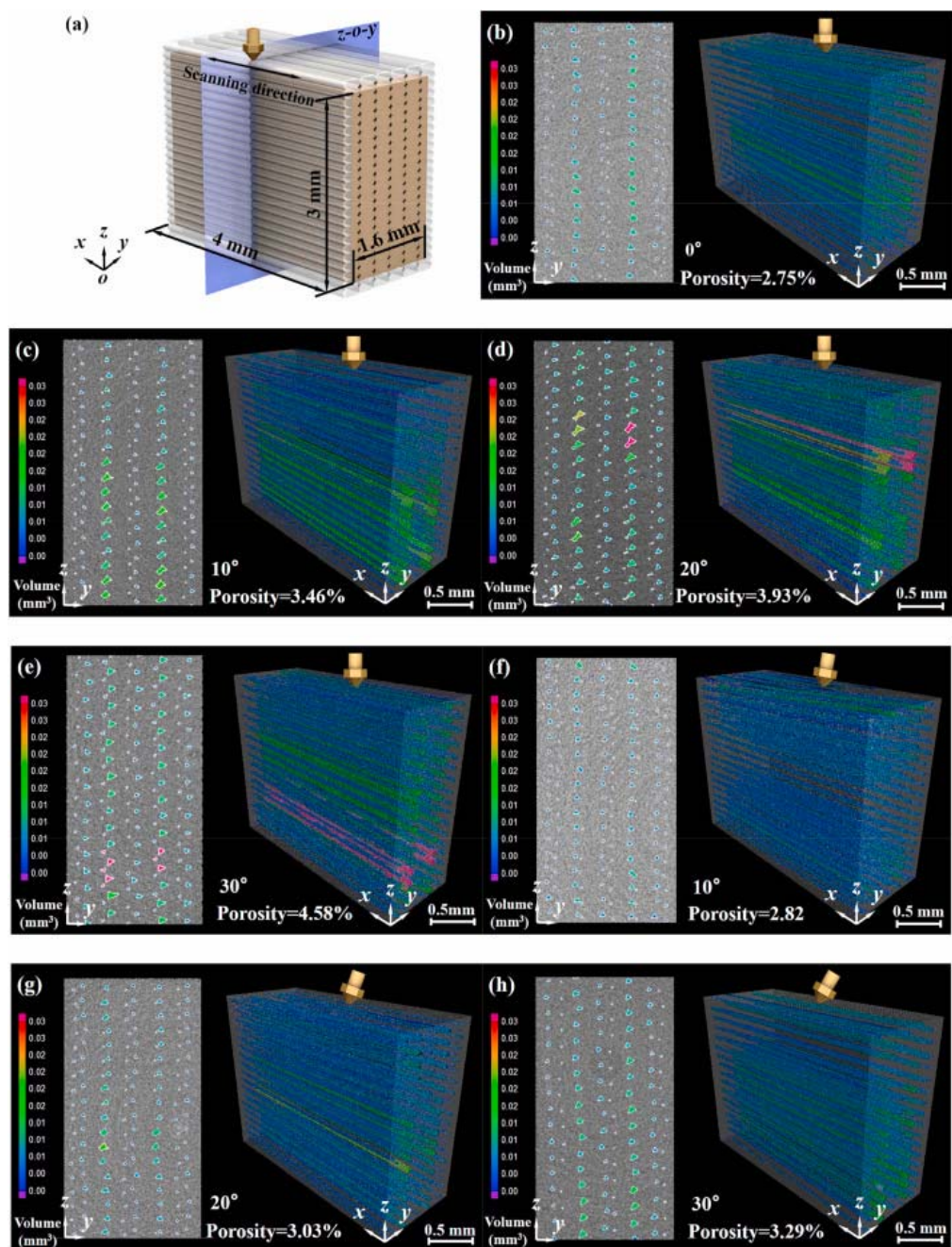
FDM басу кезінде балқытылған материал ұшаққа шығарылып, тыңдалған сызық қалыптасты, және дебюттік желілер шөгінді қабатын қалыптастыру үшін қабаттасқан. Саптама бір қабат қалыңдықпен көтерілгеннен кейін, бөлшектерді басып шығару аяқталғанша басу процесі қайталанды. Кеуектердің шөгінді сызықтар арасында қалыптасуы жиі кездесетін проблема болып табылады. Жалпы, 3-DOF 3D принтерлері үшін баспа бөлшектерінің пороздары принтер параметрлерін орнатқаннан кейін бірдей болады. Алайда қиғаш бөлшектерді басып шығарғанда әр түрлі қиғаш бұрыштарға байланысты ішкі кеуектердің пішіні өзгеріп, кеуектілік те әсер етеді. 24-суретте екі басып шығару режимінде басылған даналардың көлденең қималарын көрсетеді. Тік басу режимінде басылған бөліктің қиғаш бұрышы өзгерген кезде ішкі кеуек ақауларының көлденең пішіндері тиісінше өзгереді. Ауыспалы-бұрышты басу режимінде, басылған бөліктің қиғаш бұрышы өзгергенде, ішкі ақаулардың көлденең пішіндері бұрынғысынша болған.



а) - с) тік басу режимі, d) - f) ауыспалы бұрышты басып шығару режимі
 24-сурет – Баспа бөлшектерінің ішкі ақауларының схемалық диаграммасы

Даналардың ішкі ақауларын анықтау және қайта жаңарту үшін микро-рентгендік 3D визуализация жүйесі (YXLON Cheetah, Германия) қолданылды. Кеуек геометриясы, көлемдері, кеңістіктік үлестірімелері де талданды. 24-суретте микро-рентгендік 3D визуализация жүйесін пайдалана отырып алынған ақаулықтарды талдау үшін сынама алу аймағының диаграммасын көрсетеді.

Тік жұқа қабырғалы даналардың кеуектілігі (0 градуста) 2,75 пайызды құрады. Тік басу режимінде басылған үш қиғаш дананың кеуектілігі 3,46 пайыз (10 градуста), 3,93 пайыз (20 градуста), ал 4,58 пайыз (30 градуста) болды. Ауыспалы-бұрышты басу режимінде басылған үш қиғаш дананың кеуектілігі тік басу режимінде басылған даналардан едәуір төмен болды, мәндері 2,82 пайыз (10 градус), 3,03 пайыз (20 градус), және 3,29 пайыз (30 градус).

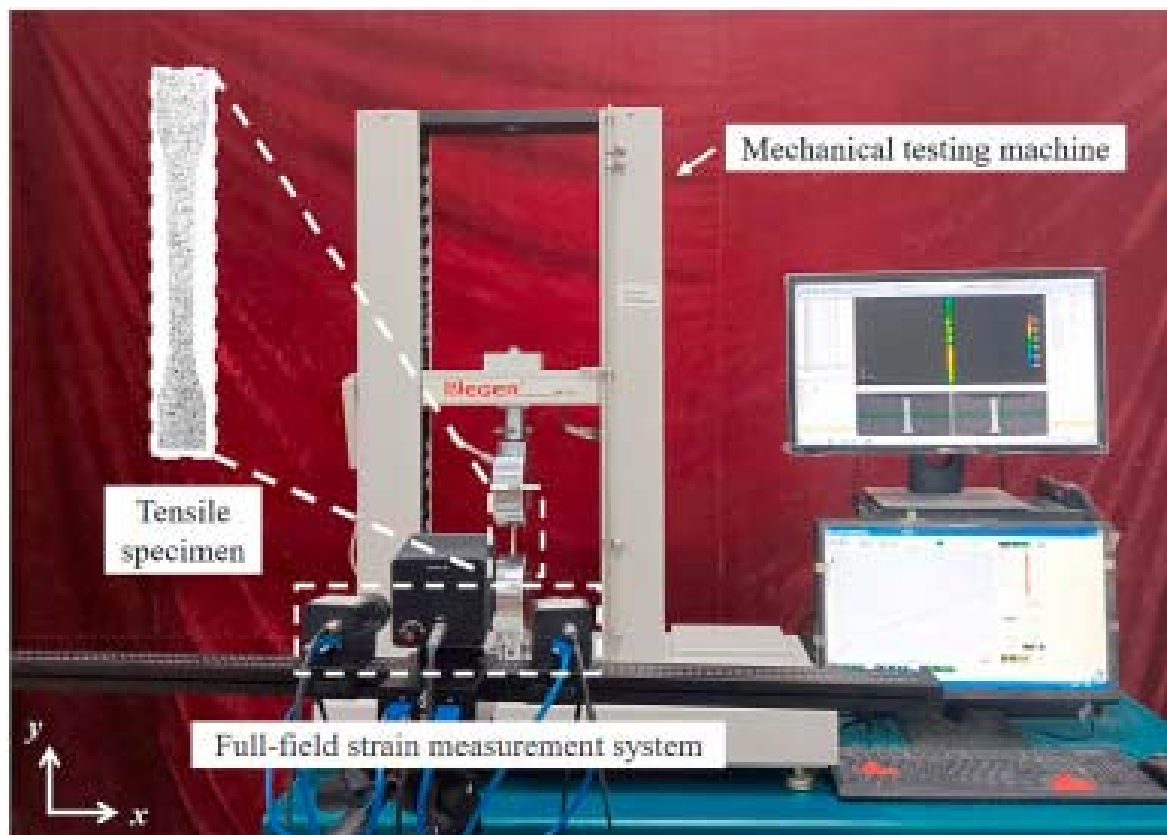


25-сурет – Үлгілердің кеуектілігін талдау: а) сынама алу аймағының диаграммасы, б) 0 градустағы дана, с)-е) 10 градус, 20 градус, 30 градус даналар тік басу режимінде басылады, ал ф)-h) 10 градус, 20 градус, ал ауыспалы-бұрышты басып шығару режимінде басылған 30 градустағы даналар.

4.7 Беріктіктің шегін анықтау сынақтары

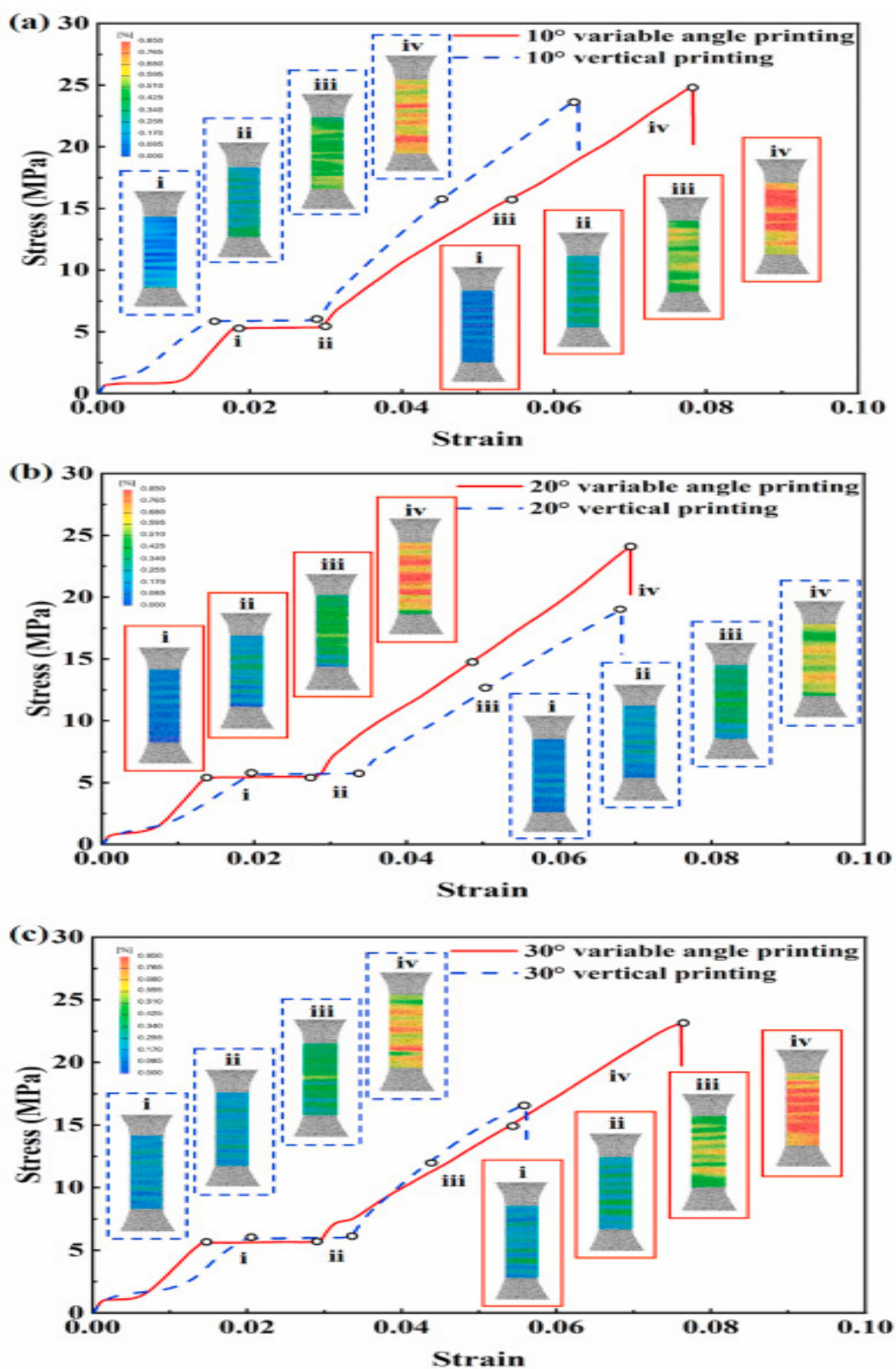
Шиеленіскен сынақтарды орындау үшін механикалық сынау машинасы (3005T, Shenzhen Regel Instrument Co., Ltd., Қытай) қолданылды. Шиеленіскен сынақтар кезінде үлгілердің деформациялары мен 3D штаммдарын суретке түсіру және талдау үшін 3D толық өрісті штаммды өлшеу жүйесі (3DFSMS,

ХТОР 3D Technology (Shenzhen) Co., Ltd.) қолданылды. Шиеленіскен сынақтар алдында үлгі беттерді жасанды спектрлер жасау үшін жіңішке бояу қабатымен тозаңдандырады.



26-сурет – Тәжірибелік баптау

Тәжірибелік нәтижелер 26-суретте көрсетіледі. Стресс-штамм қисықтарынан үлгілердің шиеленіскен күшті жақтары полиграфиялық режиммен және қисық бұрышпен байланысты болғанын байқауға болады. Басудың екі режимінде де қиғаш бұрыштары үлкен даналардың шиеленіскен күшті жақтары салыстырмалы түрде төмен болды. Хосравани зерттеулерінде растрлық бағыт даналардың беріктігіне айтарлықтай әсер етеді, ал басу бұрышының артуымен тендік күші төмендейді [24]. Ауыспалы-бұрышты режимде басылған үш дананың тензильді күшті жақтары тік басу режимінде басылған даналардан жоғары болды.



27-сурет – Шиеленіскен сынақтардың нәтижелері төрт ерекше сәтте:

а) 10 градус, б) 20 градус, с) 30 градус

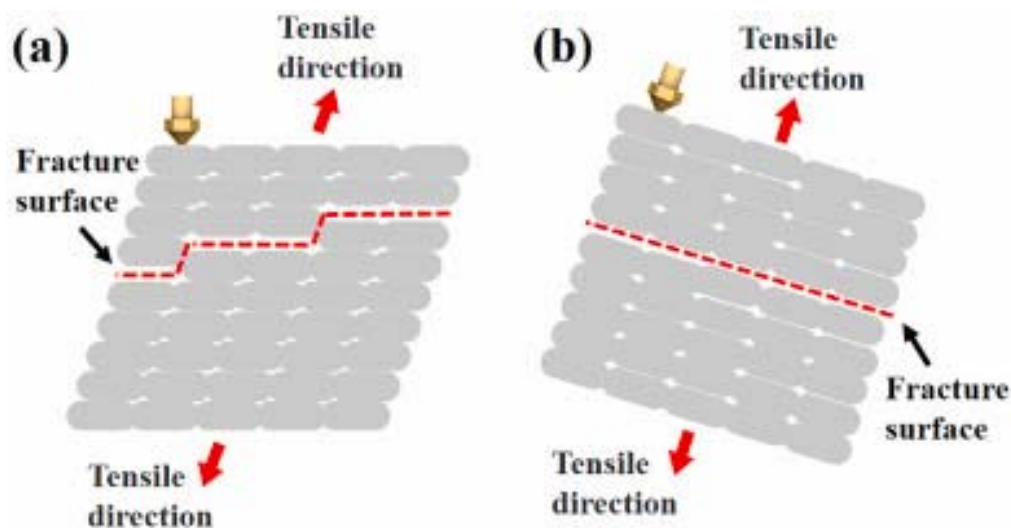
3DFSM суреттері перпендикуляр көлденең жолақтар қатары болғанын көрсетті тензильді бағыт шиеленіскен сынақтың басында. Себебі, даналардың беттері толқынды болғандықтан, 27-суретте көрсетілгендей. Сондықтан шиеленіскен сынақ кезінде науадағы көлденең аумақ салыстырмалы түрде аз болды және стресс концентрациясы байқалды. Одан әрі жүктеу кезінде даналардың бетіндегі стресстің таралуы бірте-бірте біркелкі болып, түстері жолақтардан үлкен аумақтарға ауысып отырды. IV таңбаланған жәшіктерде сыну алдында даналардың 3DFSM суреттері көрсетіледі. Даналардың бөліктерінде қызыл және сары жолақтар пайда болды, бұл үлкен стресс концентрациясының қайтадан пайда болғанын, содан кейін даналары сынғанын көрсетеді. Ауыспалы-бұрышты басу режимінде басылған даналардың қызыл аймақтары кеңірек болды, бұл стресс-үлестірімдердің тік басу режимінде басылған даналарға қарағанда біркелкі болғанын көрсетеді. Көрсетілген даналардың ішкі таралулары мен кеуектілігі бойынша, дана кеуектілікпен тығыз байланысты болдытензильдік қасиеттер. Кеуектіліктің ұлғаюымен даналардың тензильді күшті жақтары сәйкесінше төмендеді, 4-кестеде көрсетілгендей.

4-кесте – Даналардың кеуектілігі мен шиеленіскен күшті жақтары

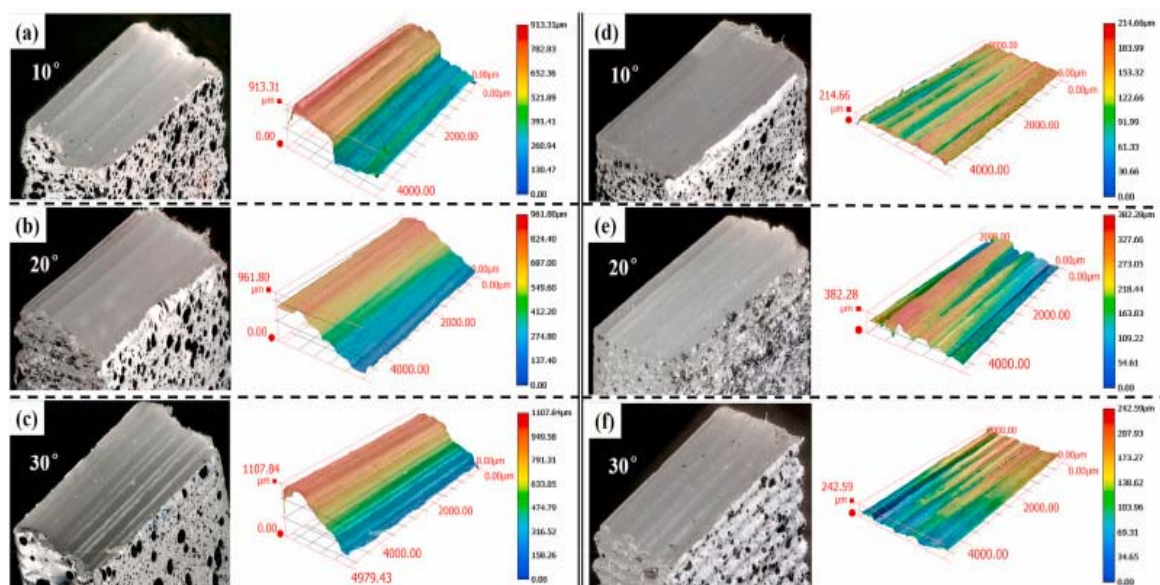
Сан	Түрі	Қиғаш бұрыш, градус	Кеуектілік, %	Шиеленіскен беріктік, МПа
1	Тік басу	0	2,75	26,75
2	Тік басу	10	3,46	23,69
3		20	3,93	19,57
4		30	4,58	16,34
5	Айнымалы бұрышты басып шығару	10	2,82	24,94
6		20	3,03	24,14
7		30	3,29	23,11

4.8 Сынуды талдау

Сыну беттері екі басу режимімен басылған тензильді даналардың ішінде көрсетілгендей әр түрлі болған **28 және 29-суреттерде** сандық микроскоп (VHX-6000, KEYENCE, Жапония) көмегімен қайта жаңғыртылған тензильді даналар мен 3D сынық беттерінің сыну көріністерін көрсетеді. Тік басу режимінде қиғаш даналардың барлық қабаттары көлденең жазықтыққа параллель және перпендикуляр **емес тензильді жүктеме** бағыт, ауыспалы-бұрышты басу режимінде қиғаш даналардың барлық қабаттары жүктеменің тенденциялық бағытына перпендикуляр болды.



а) тік басу, б) ауыспалы-бұрышты басу
28-сурет – Шиеленіскен сынудың схемалық диаграммасы



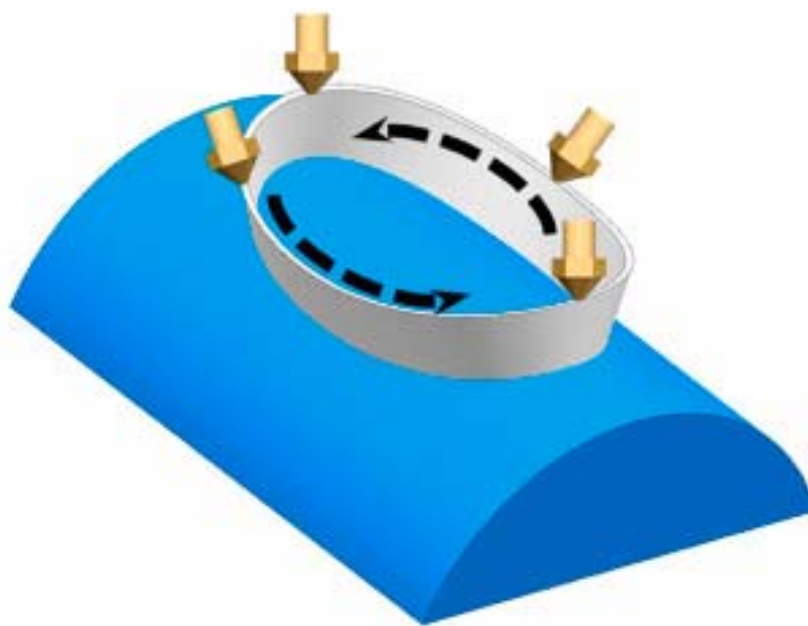
29-сурет – а)-с) тік басып шығару режимінде және d)-f) айнымалы-бұрышты басып шығару режимінде басылған үлгілердің тензильді сыну морфологиялары

Ауыспалы бұрышты басу режимінде басылған даналардағы кеуек ақаулары шиеленіскен жүктемеге перпендикуляр ақаулы қабаттар қатары ретінде бағалануы мүмкін. Шиеленіскен сынақтарда даналар ақау қабаттарынан сынды, сондықтан сынықтар салыстырмалы түрде жалпақ болды, 29d және 29f суретте көрсетілгендей. Алайда, тік басу режимінде басылған даналар үшін кеуек ақаулары жазықтықта шиеленіскен жүктемеге перпендикуляр таратылмады, бірақ далалық үлестірулер ұсынылды. Сондықтан шиеленіскен сынақтарда сынық беттер саты тәрізді сынықтарды

ұсынды, ал қиғаш бұрышы үлкен дананың сынық бетінің адым-пішіні айқынырақ болды.

4.9 Қисық сызықты беттерде алты еркіндік дәрежесі бар жұқа қабырғалы бөлшектерді басу

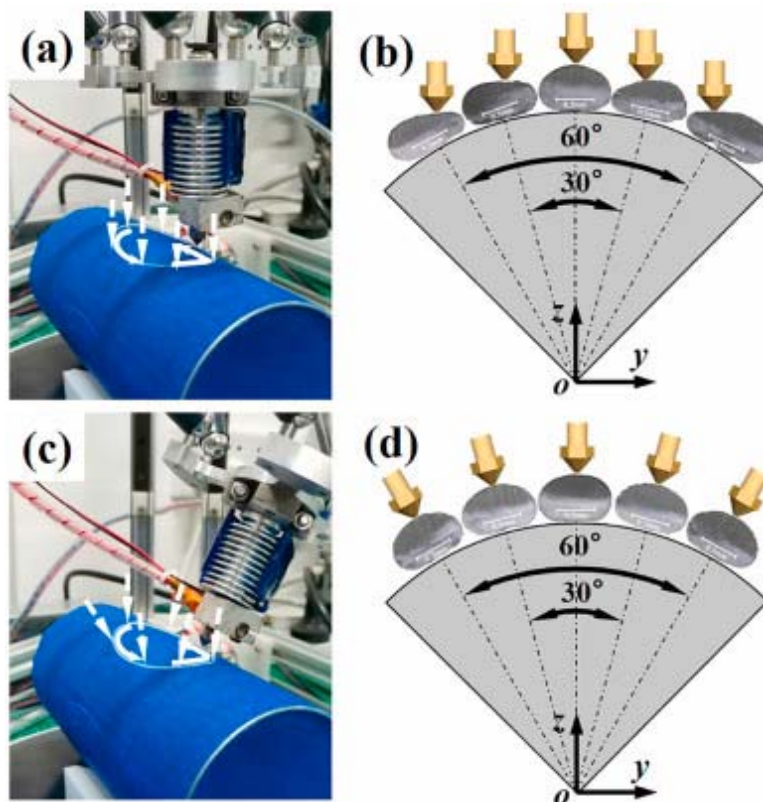
Дәстүрлі 3-DOF 3D принтері планарлы субстратта қабатпен ғана басып шығара алады, бірақ кеме тәріздес бөлігін көрсетілген цилиндрлік бетке басып шығара алмайды 30-сурет. Бұл зерттеуде 6-PSS 3D принтері осы бөлікті басып шығаруды икемді аяқтай алады.



30-сурет – Цилиндрлік бетке кеме тәріздес бөлікті басу

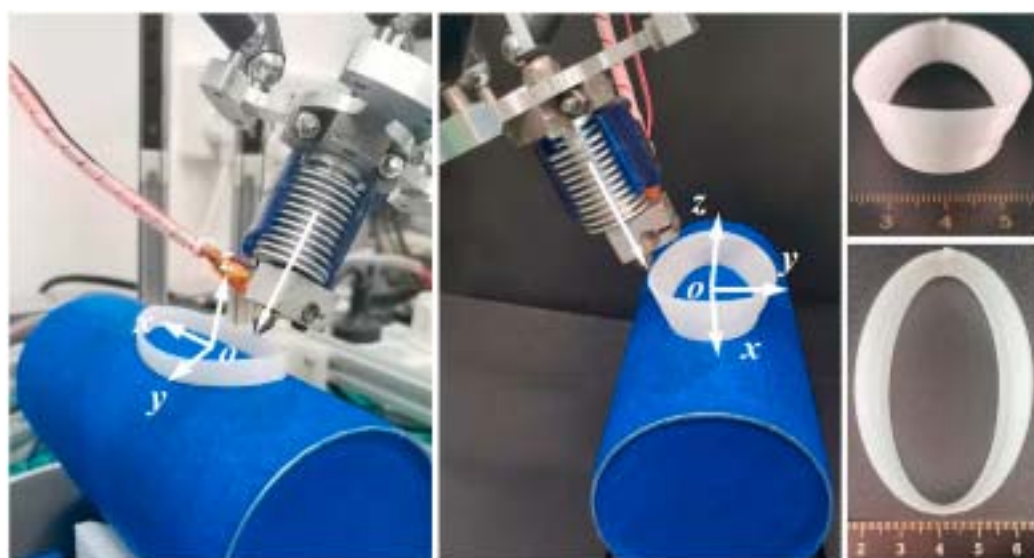
Тік басу режимінде саптамадан шығарылған балқытылған материал қисық сызықты бетке шығып тұрғанда, әр түрлі қалыптарда әр түрлі пішіндер пайда болды. Цилиндрлік беттің жоғарғы бөлігінің ең биік нүктесінде экструзивті материалдың пішіні жазықтықта басылғанға өте жақын болды. Басқа төменгі позицияларда нығайтылған көлденең қима дебюттік желілер көрсетілгендей симметриялы емес 31-сурет себебі балқытылған материал экструзия күші мен ауырлық күшінің әрекеті астында төменгі бағытқа ағып кетті. Тұрақты емес дебюттік сызықтар кейіннен басып шығаруға жарамсыз болды; сөйтіп, полиграфия бұл режимде жалғаспады. Ауыспалы бұрышты басу режимінде басып шығару кезінде саптаманың кеңістік бұрышы нақты уақыт режимінде реттелді, ал цилиндрлік беттегі шөгу сызықтарының көлденең пішіні көрсетілгендей симметриялы болды. 30-суретте тегіс бетке басу кезінде шөгінді сызықтардың көлденең пішіні бірдей болған 31-сурет басу процесін және дайын жұқа қабырғалы бөлігін көрсетеді. Баспа бөлігінің

пішіні саптаманың кеңістік бұрышын нақты уақыт режимінде түрлендіру арқылы тұрақты болды.



а) тік қалыптау, б) тыңайтқыш сызықтардың көлденең қимасы, с) нақты уақыт режимінде ауыспалы бұрышты басу зеңі, d) тыңайтылған сызықтардың көлденең қимасы

31-сурет – Цилиндрлік бетке басылған тыңдалған сызық пішіндерін салыстыру



32-сурет – Цилиндрлік бетке кеме тәріздес жұқа қабырғалы бөлікті басу

Бұл жұмыста 6-DOF параллельді 3D принтер ұсынылды. 6-PSS 3D принтерінің құрылымы дәстүрлі көп DOF принтері мен робот негізіндегі көп DOF 3D принтеріне қарағанда қарапайым. Негізгі тұжырымдар мынадай болды:

6-DOF полиграфиясын іске асыра алатын айнымалы-бұрышты басу режимі дәстүрлі тік басу режимімен салыстырылды. Екі басу режимімен басылған үш қиғаш бұрышы бар даналардың полиграфиялық сапасын талдау арқылы бірдей қиғаш бұрыш жағдайында беттік кедір-бұдырлық, бұрыштық қателік және ауыспалы-бұрышты басу режимі бойынша дайындалған даналардың кеуектілігі тік басу режиміндегіден төмен болғаны анықталды, ал шиеленіскен беріктігі тік басу режиміне қарағанда жақсырақ болды.

Тік даналармен салыстырғанда (қиғаш бұрыш — 0 градус), қиғаш бұрышы 10 градус, 20 градус және 30градус 1,26, 1,43 және 1,67 есе өсті, ал шиеленіскен күші тиісінше 11 пайызға, 27 пайызға және 39 пайызға төмендеді. Айнымалы-бұрышты басу режимі бойынша дайындалған қиғаш бұрышы бірдей даналардың кеуектілігі тиісінше 1,03, 1,10 және 1,19 есе өсті, ал шиеленіскен беріктігі тиісінше 7 пайызға, 10 пайызға және 14 пайызға төмендеді. Алынған нәтижелер ауыспалы бұрышты басу режимімен жасалған үлгінің сапасы салыстырмалы түрде жоғары екенін көрсетеді, бұл басу сапасының біркелкілігін қамтамасыз етуге көмектеседі.

Нақты уақыт режимінде айнымалы-бұрышты басу режимі 6-PSS 3D принтерді күрделі бөлшектерді басып шығаруда икемді етеді. Жазықтықта басып шығарумен қатар ойыс бетінде де басып шығаруға болады. Сондай-ақ, ақаулы күрделі бөлшектерді жөндеу кезінде қолданудың жақсы перспективасы бар.

5 3D метал принтерді жұқа қабырғалы бөлшек жасауда қолдану

5.1 Металдан жұқа қабырғалы бөлшек басу



33-сурет – 3D металмен басылған салқындатқыш көйлек

Қосымша өндіріс технологиясын қолдана отырып, Германияның Эсслинген қолданбалы ғылымдар университетінің Формула-1 E-Stall студенттік жарыс командасы электр жетегі мен қуат электроникасын салқындатуды сәтті жақсартта алды. EPlus3D компаниясының EP-M260 құрылғысында ең жоғары дәлдікпен басылған алюминийден жасалған бөлшектер шығарылатын жылуды оңай кетіреді және Осылайша жарыс көлігінің өнімділігін жақсартады.

Эсслинген қолданбалы ғылымдар университетінің e-Stall жарыс командасы Формула-1 студенттік жарыстарына қатысу үшін электрлік жарыс машинасын әзірлейді және құрастырады. EPlus3D-мен бірге үш компонентті айтарлықтай жақсартуға болады, олардың екеуі жылу алмастырғыштар.

Формула студентінде студенттер командасы бір орындық формулалық жарыс машинасын жасайды, онда олар әлемнің басқа командаларымен бәсекелеседі. Жарыста ең жылдам көлігі бар команда ғана емес, сонымен қатар ең жақсы жалпы дизайн, өнімділік, қаржылық жоспарлау және сатуды жоспарлау кешені бар команда жеңіске жетеді.

Командалардың алдында тұрған міндет-жақсы құрастырылған жарыс машинасы мен осы критерийлерге сәйкес келетін сату жоспарынан тұратын толық пакет жасау. Шешімді автоспорт, автомобиль және жеткізушілер индустриясының сарапшыларынан тұратын қазылар алқасы қабылдайды.

Қазылар алқасы дизайн, шығындарды жоспарлау және сату презентациясы негізінде әр команданың көлігі мен сату жоспарын бағалайды. Төрешілердің қалған бөлігі трассада өткізіледі, онда студенттер бірқатар сынақтарда өздерінің қолдан жасалған жарыс машиналарының нақты әлемде қаншалықты жақсы жұмыс істейтінін көрсетеді.

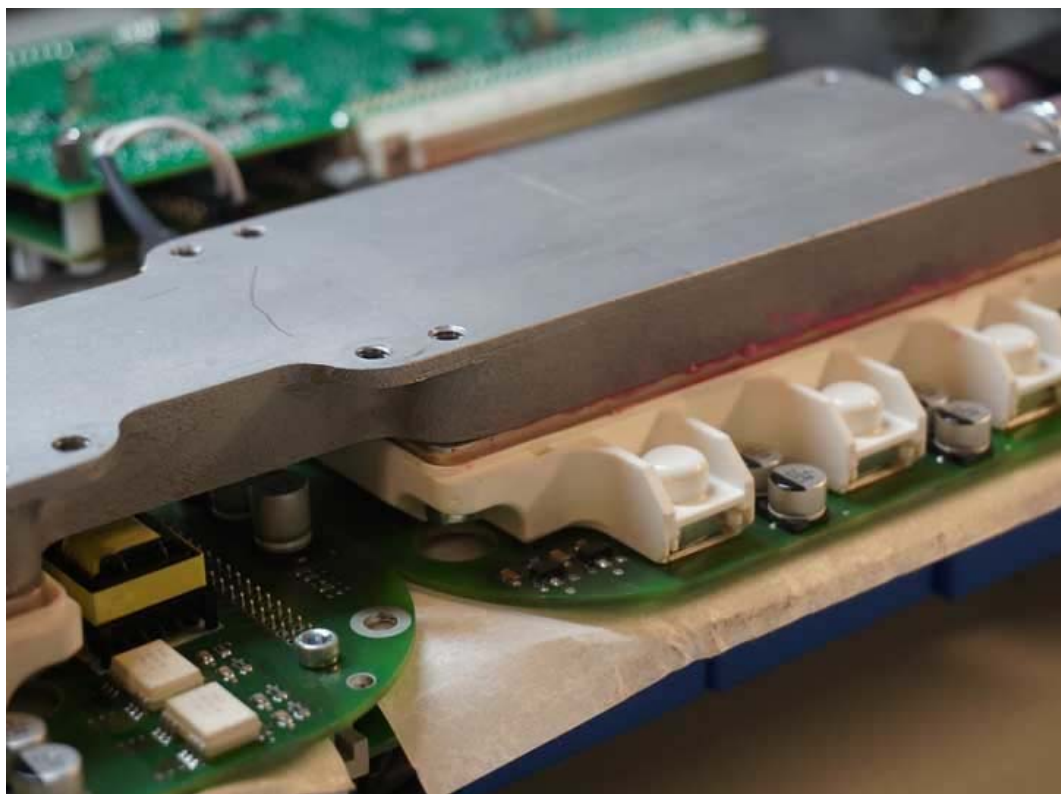
Е Stall көптеген жылдар бойы формула студентінің ажырамас бөлігі және дәлелденген бәсекелесі болды. Өткен жарыс маусымдарының нәтижелеріне сүйене отырып, олар электрлік жарыс машинасының салқындату жүйесін сенімділік тұрғысынан жақсартқысы келді. Е. Stall командасы қолданған алдыңғы салқындатқыш көйлек ыстыққа төзімді полимерден жасалған және екі қабықтан тұратын электр жетегінің айналасына тікелей орнатылған. Салқындатқыш көйлектің мақсаты - жетектің температурасын реттеу және қызып кетудің алдын алу. Жеткілікті салқындатусыз қозғалтқыштың зақымдану қаупі өте жоғары. Полимерлі салқындатқыш жейдені пайдалану маусымында екі бөліктен тұратын ерітінді ағып кетуге және осылайша проблемаларға бейім екендігі көрсетілді.

Электрлік төрт доңғалақты жарыс машинасында жоғары өнімді электр қозғалтқыштарын салқындату керек. Бұл қозғалтқыштардың қуаты жоғары болғандықтан-10 кВт / кг, олар салқындатусыз толық жүктеме кезінде қызып кетуі мүмкін. Екі салқындату тізбегі бар, әр жағынан бір. Барлық төрт қозғалтқыш, сондай-ақ тиісті инверторлар салқындатылады. Eplus3d-дің аддитивті өндіріс тәжірибесін және олардың EP-M260 Dual-Laser металл ұнтағы қабатындағы ең жаңа балқыту шешімін қолдана отырып, салқындатқыш компоненттердің ағып кету мәселесін шешуге және өнімділікті едәуір жақсартуға болады.

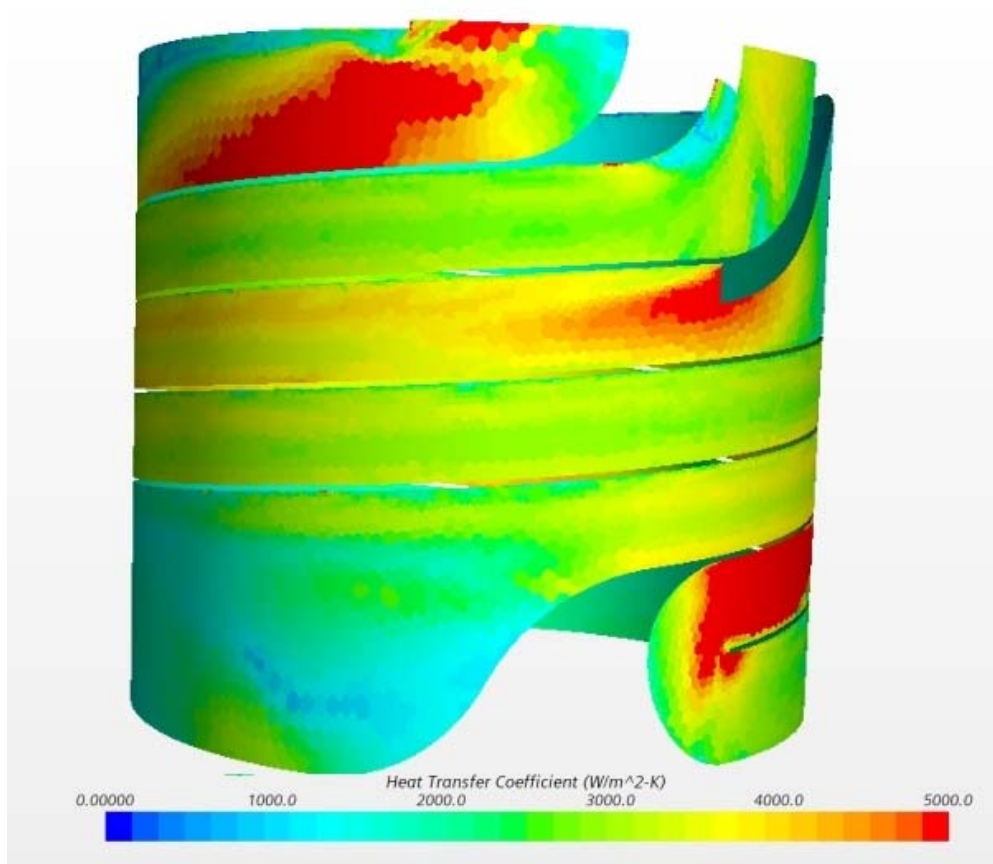
Металл 3D басып шығару технологиясының әмбебаптығының арқасында Е. Stall командасы жаңа пішіндерді сынай алды, бұл дәстүрлі әдістерді қолдану арқылы осы уақытқа дейін мүмкін болмады. Сонымен қатар, алюминий материалының қасиеттеріне байланысты жылуды кетіру үшін салқындатқыш көйлектің бүкіл бетін пайдалануға болады.

3D басып шығарылған салқындатқыш көйлек тиімді және сенімді өнім болады. Біз кез-келген әдеттегідей мүмкін емес күрделі құрылымдарды жасай алдық. EPlus3D және соңғы аддитивті өндіріс технологияларының көмегімен біз 3D принтердің жоғары дәлдігінің арқасында қабырға қалыңдығын азайта алдық, сондықтан бөлшектердің жалпы өлшемін азайта алдық.”

Салқындатқыш жейдеден басқа, ePlus 3D өзінің инверторлары мен рульдік құрамдас бөлігі үшін салқындатқыш тақтасы бар Е-Stall қолдайды. Екеуі де бірнеше компоненттердің функционалды интеграциясын, жеңіл дизайнды және жалпы өнімділікті жақсартуды мұра етті.



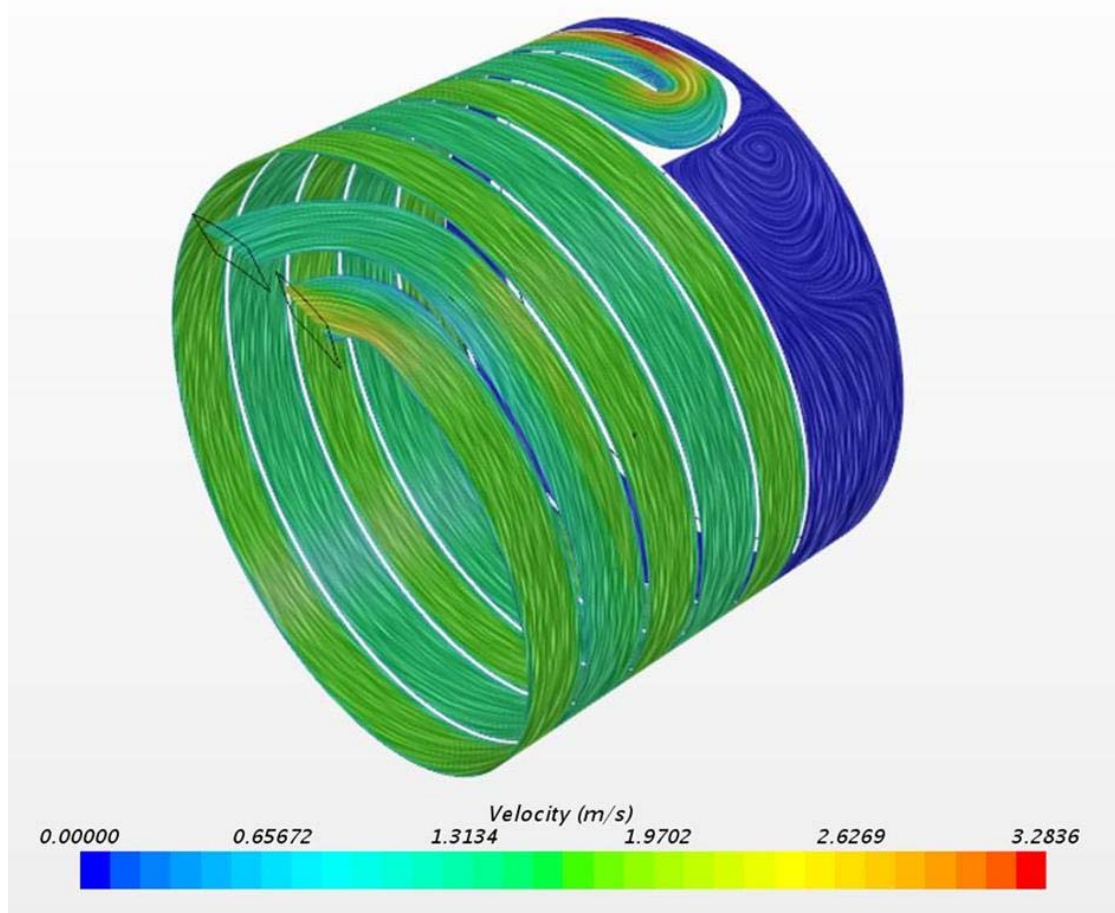
34-сурет – Инверторларды салқындату



35-сурет – Салқындатқыш көйлекпен жылуды тарату

Салқындату жүйесінің, қосқыштардың және монтаждаудың функционалды интеграциясының арқасында құрастыру кезеңдері қысқарады, ал ақауларға төзімді құрылым енді ағып кетуге бейім емес. Бөлшектің қабырғаларының минималды қалыңдығы жалпы диаметрді азайтуға көмектеседі, сондықтан электр қозғалтқышының айналасында орналасқан басқа суспензия компоненттері үшін көбірек орын жасайды.

Басып шығарудың жоғары сапасы принтердің жұмыс істеуі үшін өте маңызды. Инверторлар үшін жақсы жабдықталған салқындатқыш көйлек салқындатқыш тақтайшаның түзулігі сияқты маңызды болды. Екі бөлік те өз функцияларын жақсы орындады және Қозғалтқыштар мен инверторлардың температурасын 65°C-тан төмен ұстады, бұл команда "керемет жақсы нәтиже" дейді. Өткен маусыммен салыстырғанда, қозғалтқыштар үнемі 120°C дейін қызған кезде, дизайнды біріктіруге мүмкіндік беретін EPlus3D өндіріс процесінің артықшылығы айқын болды.



36-сурет – Салқындатқыш көйлектегі ағынды модельдеу

Салқындатқыш жейденің дизайны 3,8 кВт Имитациялық салқындату өнімділігін қамтамасыз етті. Компоненттердің төмен температурасының арқасында олар тиімдірек жұмыс істей алады, бұл жалпы автомобиль жүгірісінің артуына, сондай-ақ күшейтілген үдеуге әкеледі. [18]

Компоненттер мен компоненттердің керемет дизайнымен және бүкіл e-stall командасының берілгендігімен олар FS Czech және FS Alpe Adria инженерлік дизайн жарыстарында 4-ші орынға ие болды. Powertrain & Vehicle Dynamics жобасының жетекшісі Феликс Вензельбургердің айтуынша, " бұл пән барлық статикалық пәндердің ішіндегі ең маңыздысы болып табылады және команданың техникалық білімі мен машинаны жобалау үшін қолданатын процестерін бағалайды.

Хорватияда олар төзімділік жарыстарын аяқтап, тиімділік санатында бірінші орынға ие болды. Төзімділік сайысы автомобильдің және әрбір компоненттің сенімділігін тексереді. Сонымен қатар, бұл пән үшін ең көп ұпай беріледі. Сондықтан табысты төзімділік сайысы әрбір Формула-1 командасы үшін басты мақсат болып табылады, сондықтан олар үшін маңызды кезең болып табылады.



37-сурет – Рульдік корпус Eplus3D

5.2 Жұқа қабырғалы темір бөлшек моделін есептеу

Гильза мотордың (немесе цилиндровая гильза) - бұл бөлім іштен жану қозғалтқышының қамтамасыз ету үшін арналған жұмыс цилиндр ішкі жану. Қозғалтқыш жеңдері цилиндр блогының ішіне орнатылады және поршеньдер қозғалатын тегіс және герметикалық бетті қамтамасыз етеді.

Олар бірнеше маңызды функцияларды орындайды:

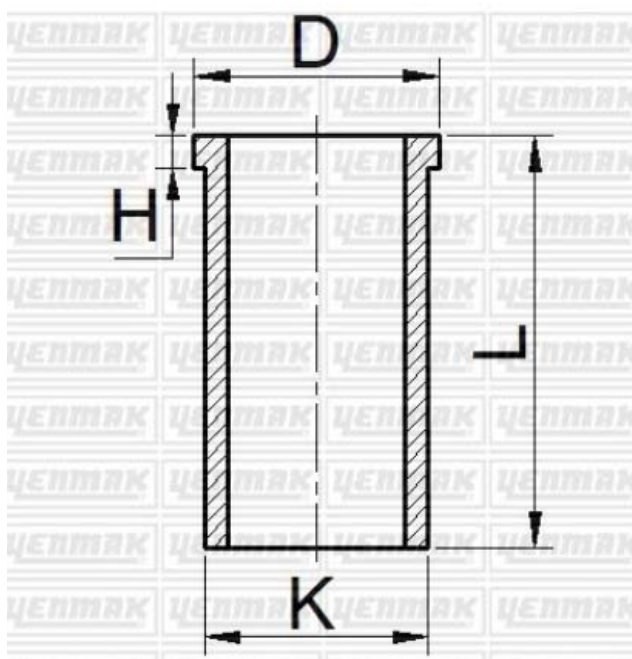
Тозуға төзімділік: жеңдер цилиндр ішіндегі поршеньді үйкеліске төтеп бере алатын материалдардан жасалған, бұл тозуды азайтады және қозғалтқыштың қызмет ету мерзімін ұзартады.

Тығыздау және тығыздау: жеңдер қозғалтқыштың оңтайлы қысымы мен жұмысын қамтамасыз ету үшін цилиндрдің тығыздалуын қамтамасыз етуі керек.

Жылуды тарату: олар сондай-ақ қызып кетудің алдын алу және қозғалтқыштың тұрақты жұмыс температурасын қамтамасыз ету үшін отынның жану процесінде пайда болатын жылуды таратуда рөл атқарады.

Қозғалтқыш корпустары қозғалтқыш түріне, оның жүктемелеріне және пайдалану жағдайларына байланысты шойын, болат, алюминий немесе арнайы қорытпалар сияқты әртүрлі материалдардан жасалуы мүмкін.

Мотор жеңінің орнатылуы мен күйі қозғалтқыштың қалыпты жұмыс істеуі үшін маңызды факторлар болып табылады және оларды күтіп ұстау немесе ауыстыру қозғалтқыштың тиімді жұмысын қамтамасыз ету үшін тозған немесе зақымдалған жағдайда жүзеге асырылады.



38-сурет – Гильза сызбасы

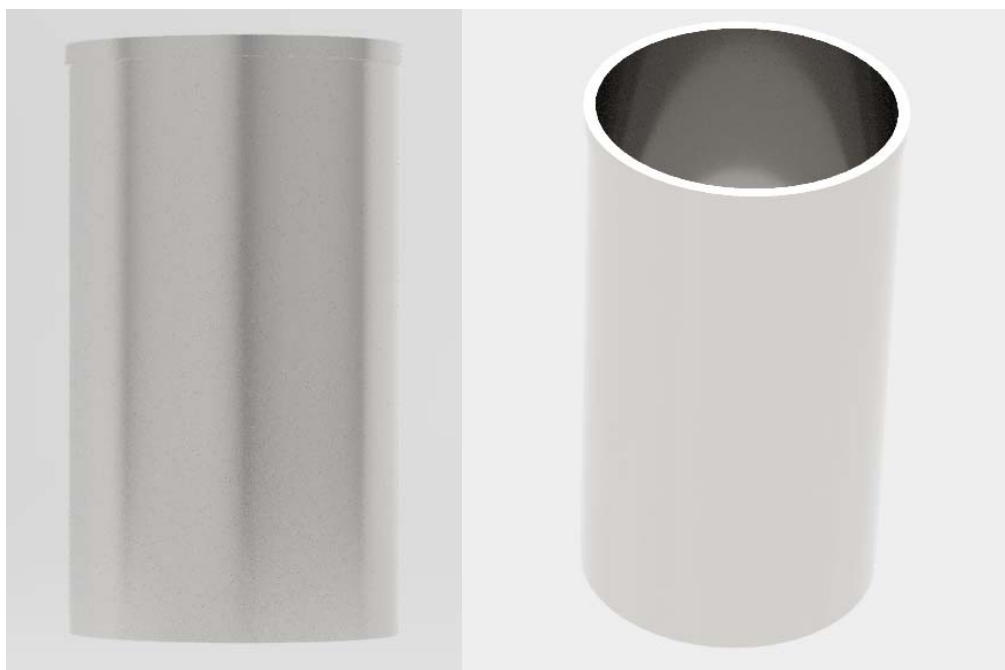
YENMAK (№5165936000) цилиндр гильзасы сипаттамалары:

Ұзындығы, мм	142
Цилиндр диаметрі, мм	76
Материал	сұр шойын
Сыртқы диаметрі, мм	79,1
Цилиндр	сақинасыз жеңдер
Фланец диаметрі, мм	81
Қосымша ақпарат	кұрғақ цилиндр жеңі -стандартты өлшем [STD]
Фланецтің қалыңдығы, мм	5
EAN	8698488042074 [20]

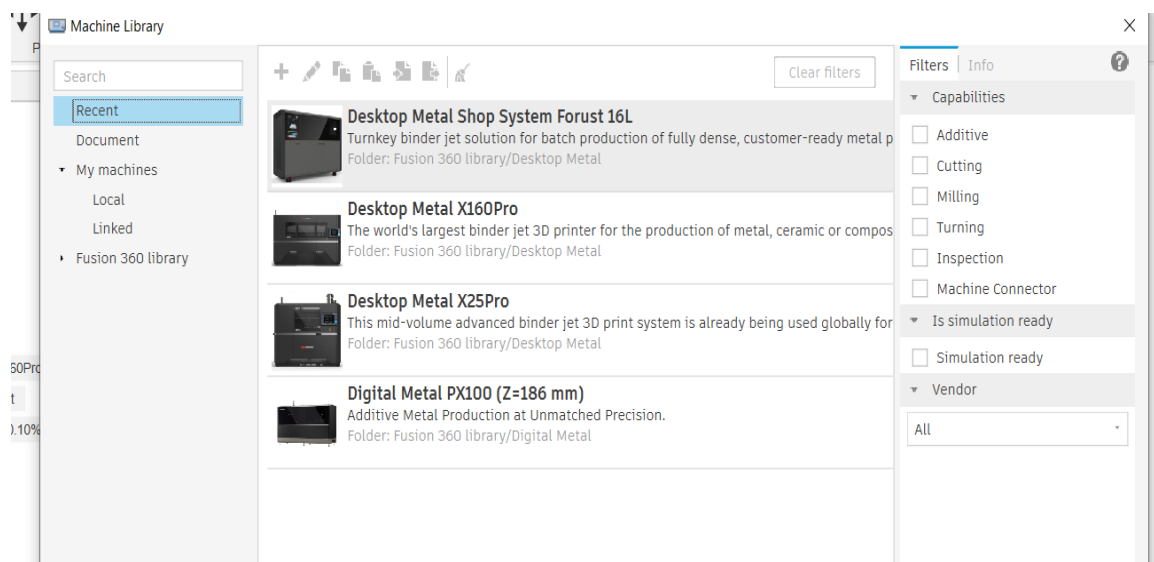


39-сурет – Гильзаның кесілген 3D моделі

YENMAK (№5165936000) цилиндр гильзасы келетін автокөліктер тізімі:
 DACIA – SANDERO / DOKKER / LOGAN / DUSTER / LODGY; NISSAN
 – MICRA / NOTE / TIIDA / CUBE / KUBISTAR / NV200 / QASHQAI / JUKE /
 ALMERA; RENAULT – CLIO / LAGUNA / MEGANE / SCÉNIC / CLIO /
 SYMBOL / GRAND / SCÉNIC / KANGOO / FLUENCE / CAPTUR / LOGAN /
 MODUS / LATITUDE / SYMBOL / TWINGO; SUZUKI – JIMNY



40-сурет – Гильза моделі



Renishaw RenAM500M Titanium Ti6Al4V 30 micron

[Download](#) / [Share](#)

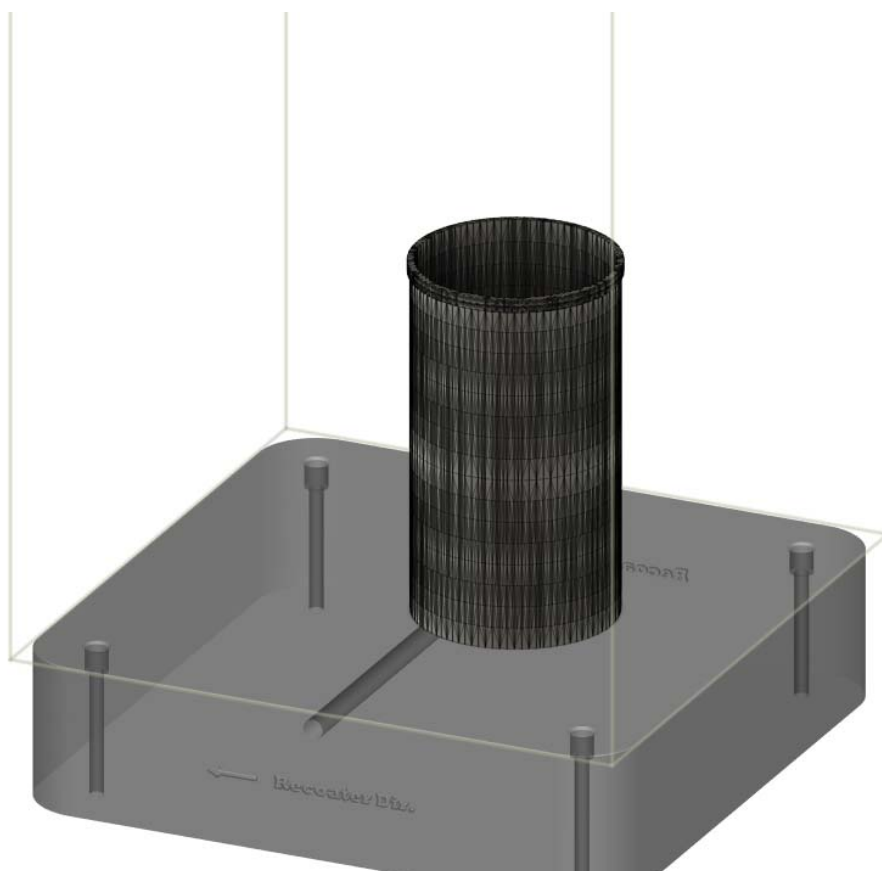
Renishaw

Ti6Al4V MPBF Print Setting for Renishaw RenAM 500M machines and 30 micron layer height.

Technology: MPBF

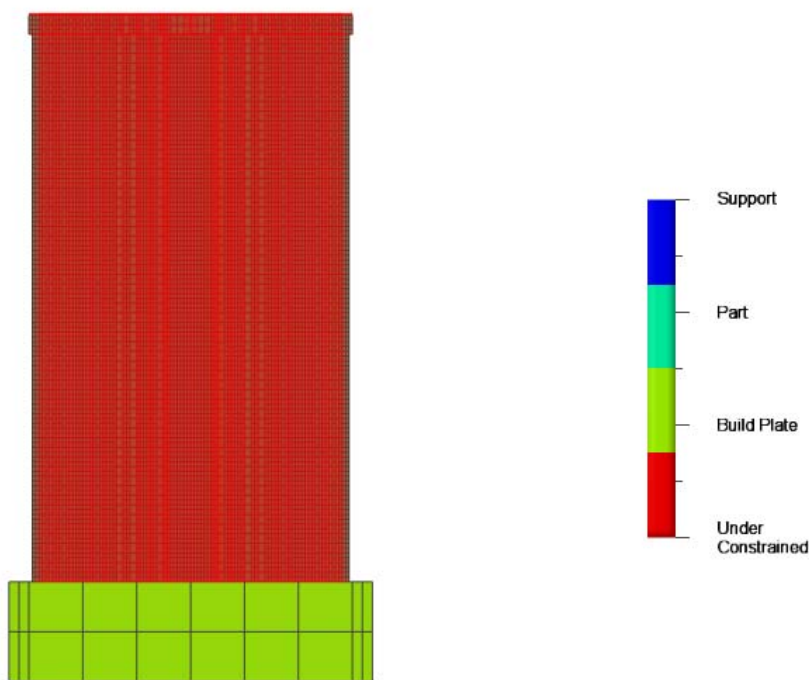
Version: 1.0

41-сурет – Renishaw Ren AM 500 3D принтерді таңдау



42-сурет – Гильза моделіннің басылу симуляциясы

Негізгі материал ретінде Титан Ti6Al4V таңдалынған болатын. Гильзаның бұрыңғы материалы шойын. Металдармен 3D басып шығаруда қолданылатын материалдардың ішінде титан және оның қорытпалары, әсіресе Ti6Al4V ерекше орын алады. Титан – табиғатта оксидтер түрінде болатын металл. Рутил (TiO_2) және ильменит (FeTiO_3) жиі кездеседі. Таза титанды алу Кролл әдісімен жүзеге асырылады.



43-сурет – Гильза моделіннің басылу анализі

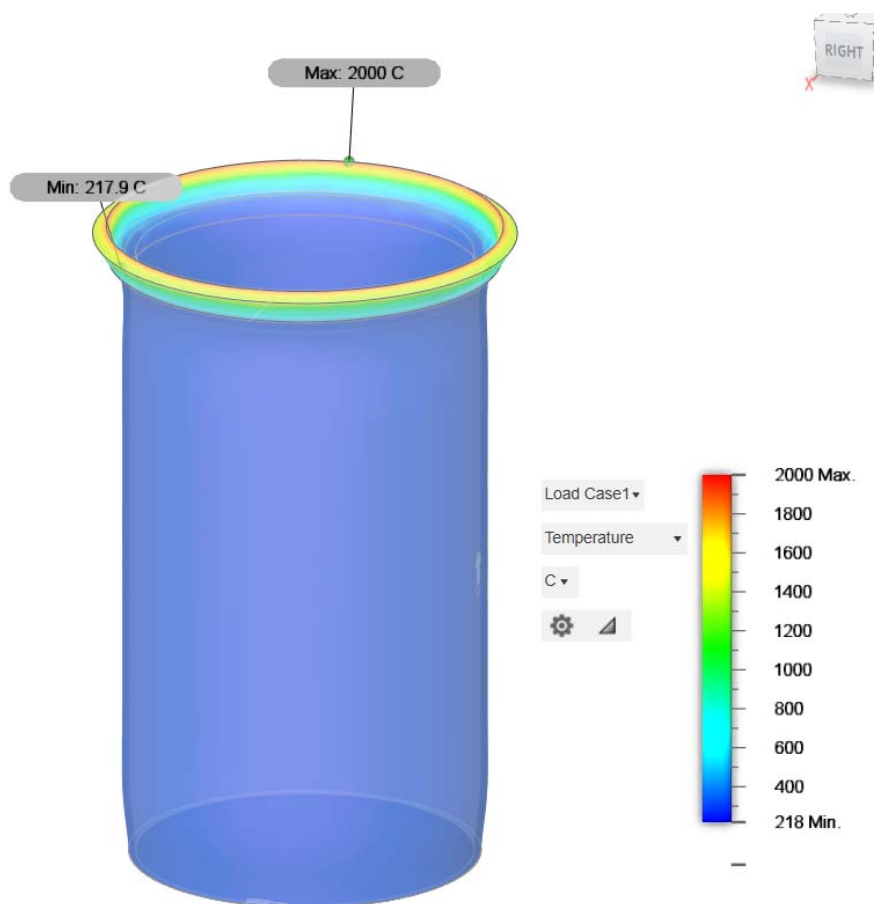
Егер біз Жалпы нарықты алсақ, Ti6Al4V қорытпасы 3D басып шығаруда кеңінен қолданылады, өйткені оның беріктігі жоғары, тығыздығы төмен, коррозияға төзімділігі жоғары және биоүйлесімділігі жоғары. Мұндай қасиеттер жиынтығы оны автомобиль, аэроғарыш, медицина және биомедицина, стоматология, химия, қорғаныс өнеркәсібі және басқа салаларда құнды материал етеді.

Ti6Al4V көмегімен 3D басып шығаруды бастамас бұрын қорытпаны ұнтаққа айналдыру керек. Бұл екі негізгі технология арқылы жасалады: Плазмалық және газ атомизациясы.

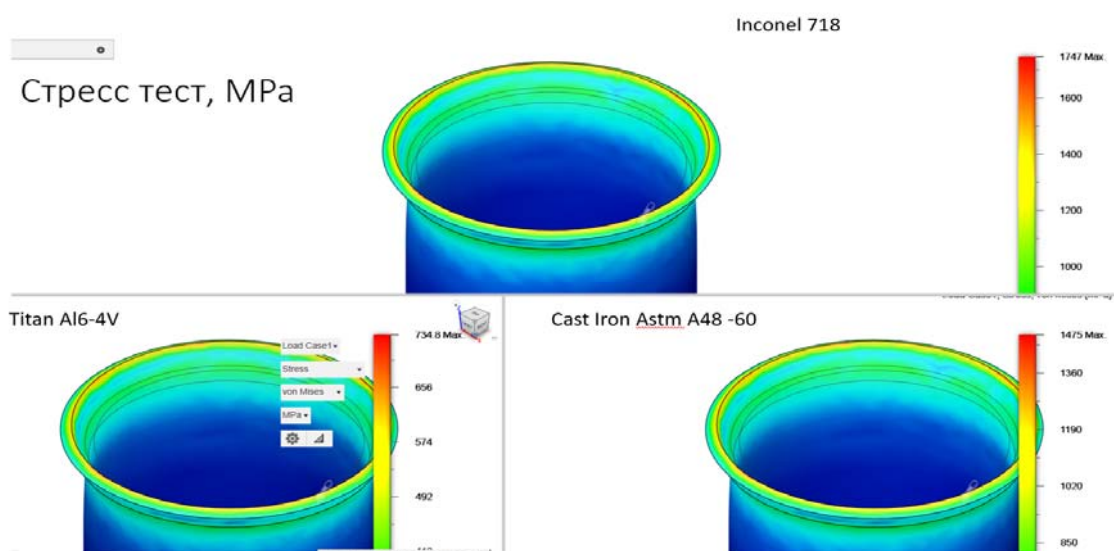
Плазмалық атомизация ерекше таза металл ұнтағын (Ti6Al4V) өндіру үшін қолданылады. Штанга тәрізді қорытпа атомизатор контейнеріне беріледі және плазматронның әсерінен ериді. Құлаған кезде балқытылған металл сфералық бөлшектер түрінде қатаяды.[21]

44, 45-суреттерде гильзаға түсетін негізгі күштер көрсетілген: негізгі күш ретінде температуралық режимнің өзгеруі. Гильза қозғалтқыш ішінде тұрғандықтан оған 2000 °C жылу берілді, қозғалтқыштардың іштен жану камерасында температура 1800-2000 °C аралығында болады [22].

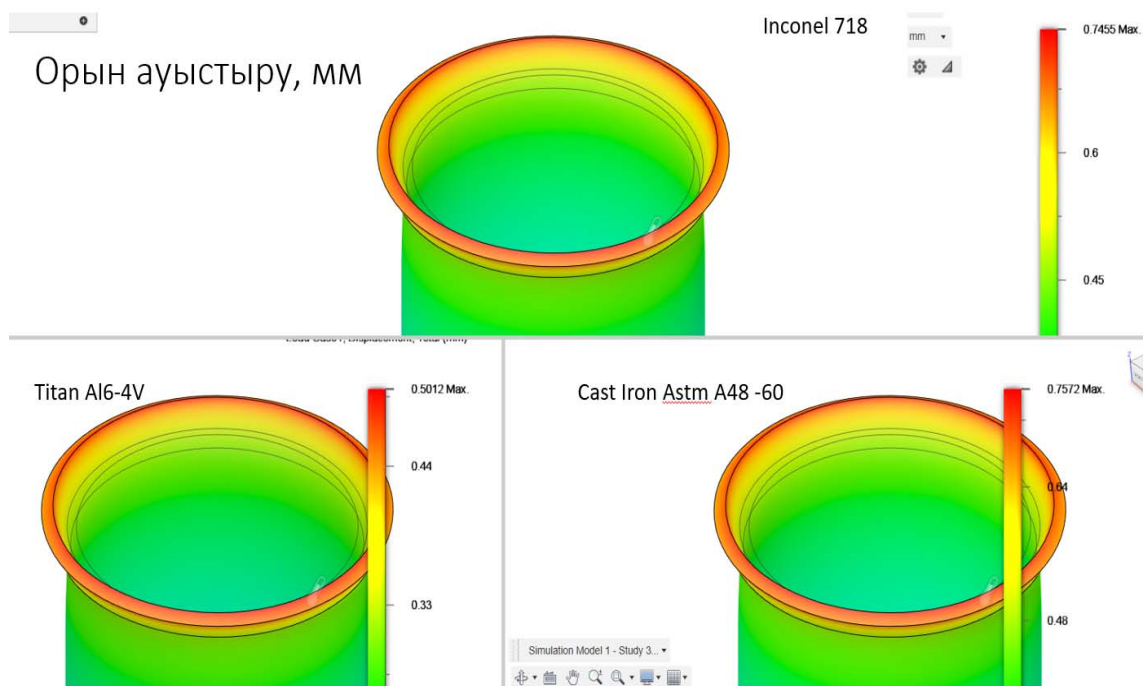
Симуляциялар мен 3D модель Autodesk Fusion 360° бағдарламасында жасалынған.



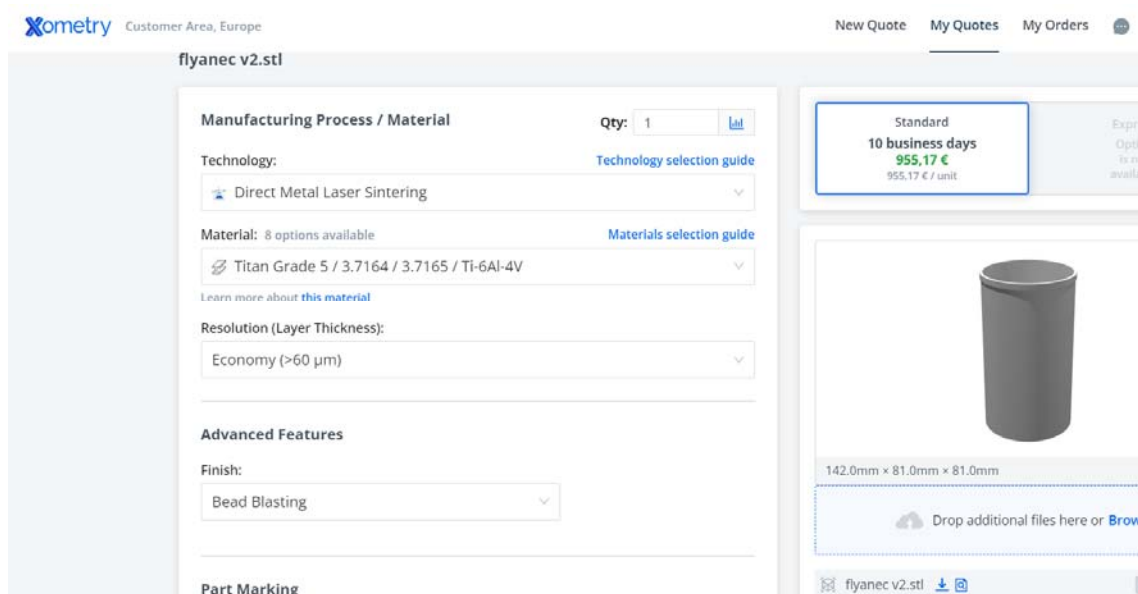
44-сурет – Температуралық стресс тест



Титан, Шойын, Инконель
45-сурет – Температуралық стресс тест



Титан, Шойын, Инконель
46-сурет – Қысым мент температура астындағы орын ауыстыру



47-сурет – Гильзаны титаннан басып шығару

Инконель (ағылш. Inconel)-аустенитті никель-хромды ыстыққа төзімді қорытпалар тұқымдасы. Арнайы металл корпорациясының тіркелген сауда белгісі[en]. Инконель әдетте жоғары температурада немесе химиялық агрессивті ортада жұмыс істейтін әртүрлі жабдықтарда қолданылады. Көбінесе бұл атау "Inco" (кейде "Inconel") деп қысқартылады. Бұл атау патенттелгендіктен, басқа фирмалар әртүрлі атаулары бар қорытпа

аналогтарын шығарады, сондықтан Inconel 625 үшін аналогтар: Chronin 625, Altemp 625, Haynes 625, Nickelvac 625 және Nicrofer 6020.

Қорытпалар Инконель тотығуға және коррозияға төзімді. Инконельді қыздырған кезде оның бетінде жұқа, тұрақты пассивті оксид пленкасы пайда болады, бұл бетті одан әрі бұзылудан қорғайды. Инконель температураның кең диапазонында беріктігін сақтайды, сондықтан алюминий немесе болат жарамсыз қосымшалар үшін қолайлы.[23]

Xometry сайтын қолдана отырып Титаннан және Инконель қорытпаларынан SLM технологиясы негізінде басып шығару қарастырылды [24]. Нәтижесінде 60 микрометр дәлділікпен басу барысында титан бағасы ҚР Ұлттық Банкінің 10 қаңтардағы курсы бойынша 430705 теңгені (955\$), ал инконель 484374 теңгені (1074\$) құрайды.

Manufacturing Process / Material Qty: 1

Technology: Direct Metal Laser Sintering

Material: 8 options available Inconel 718

Resolution (Layer Thickness): Economy (>60 µm)

Advanced Features

Finish: Standard

Part Marking

Bag and Tag

Standard 10 business days 1,074.65 € 1,074.65 € / unit

Express Option is not available

142.0mm x 81.0mm x 81.0mm

Drop additional files here or Browse

flyanec v2.stl Primary file

48-сурет – Гильзаны Инконель материалымен басып шығару

ҚОРЫТЫНДЫ

Жұқа қабырғалы бөлшектер кеңінен таралған. Мысалы, қазіргі автокөліктердің көбінде гильзалы (жұқа қабырғалы цилиндр тәріздес бөлшек) қозғалтқыштар орнатылған. Жеңдер-бұл ішкі қабырғаларында жұқа май пленкасын ұстауға арналған цилиндр тәрізді кірістірулер. Олар қозғалтқыштың цилиндр блогына салынып, оны поршеньдердің қозғалуынан болатын тозудан қорғайды. Бұл жұмыста біз жұқа қабырғалы бөлшектердің сипаттамаларын, механикалық өңдеудің қиындықтарын, қысу әдісін, токарлық құралдың материалын, кесу параметрлерін, токарлық құралдың геометриялық бұрышын, әдістерін таңдаудан бастап, механикалық өңдеу кезінде деформацияны азайтуға және болдырмауға, сондай-ақ жұқа қабырғалы бөлшектерді токарлық өңдеу параметрлерін таңдауға дейінгі мысалда токарлық өңдеу процесін жобалауды талдадық. 3D принтердің көмегімен іштен жану қозғалтқышының гильзасын басу бағдарламасы жазылды. SLS/SLM технологиясының көмегімен лазерлі аддитивті өндіріс таңдалып, оның бағдаламасы, бағасы, салмағы, уақыты есептелді. Классикалық, механикалық өңдеу арқылы жасау мен салыстырғанда 5-10 есе қымбат, жай дүкендегі немесе шығарушының бөлшегінен 50-100 есе қымбат. Бірақ титаннан жасалынған гильза беріктігі 2 есе, жылуөткігіштігі 2 есе жоғары, сонда титан гильзасы кем дегенде 2 есе көп жұмыс істейді, үлкен жүктеме астында жұмыс істей алады. Титаннан жасалынған гильзаны үлкен қысым мен жүктеме астында үлкен айналымдарда жұмыс істейтін жарыс машиналарында қолданады.

Жұқа қабырғалы металл бөлшектерін басып шығарудың артықшылықтары бар, мысалы, күрделі қалыптарды жасау мүмкіндігі, материалды үнемдеу, және Тапсырыс бойынша өндіріс мүмкіндігі. Алайда, өндірілген бөлшектердің қажетті беріктігіне, дәлдігіне және тығыздығына қол жеткізу үшін таңдалған әдіс пен материалдың ерекшеліктерін ескеру қажет. Сондай-ақ, басып шығарудан кейінгі өңдеу және сапаны бақылау процестері жұқа қабырғалы металл бөлшектерін өндіру үшін бірдей маңызды болуы мүмкін екенін есте ұстаған жөн.

Шартты қысқартулар мен белгілер

AM – Additive Manufacturing – Аддитивті өндіріс

RP – Rapid prototyping – Жылдам прототиптеу

CAD – Computer-Aided Design – Автоматтандырылған жобалау

CAM – Computer-Aided Manufacturing – Автоматтандырылған өндіріс

CAE – Computer-Aided Engineering – Автоматтандырылған инженерия

PLM – Product Life-Cycle Management – Өнімнің өмірлік циклін басқару

AM – Additive Manufacturing – Аддитивті өндіріс

ЭБМ – Электрон сәулесінің еруі

TRM – температуралық реологиялық материал

МРФ – магнеторхеологиялық сұйықтық

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

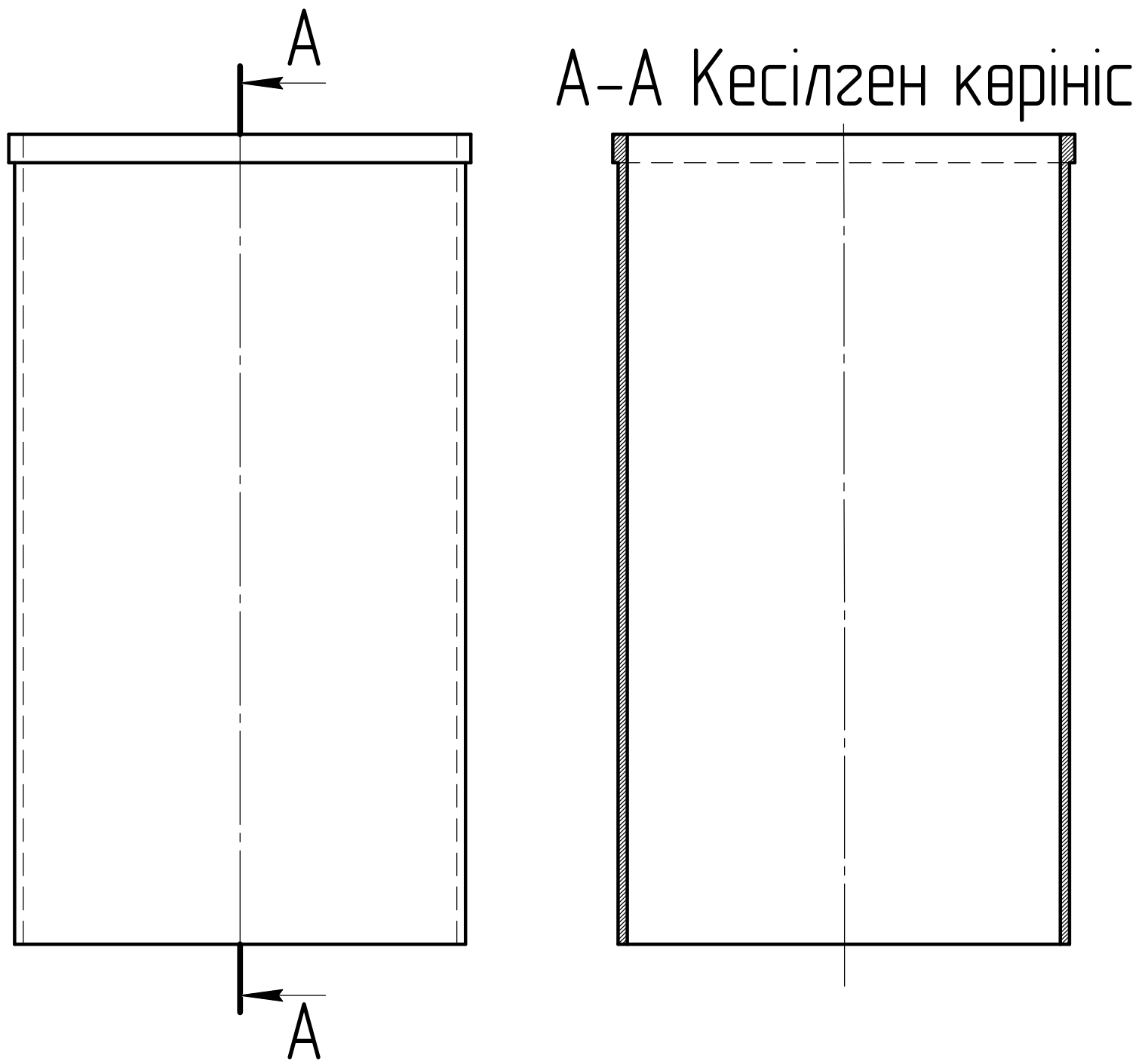
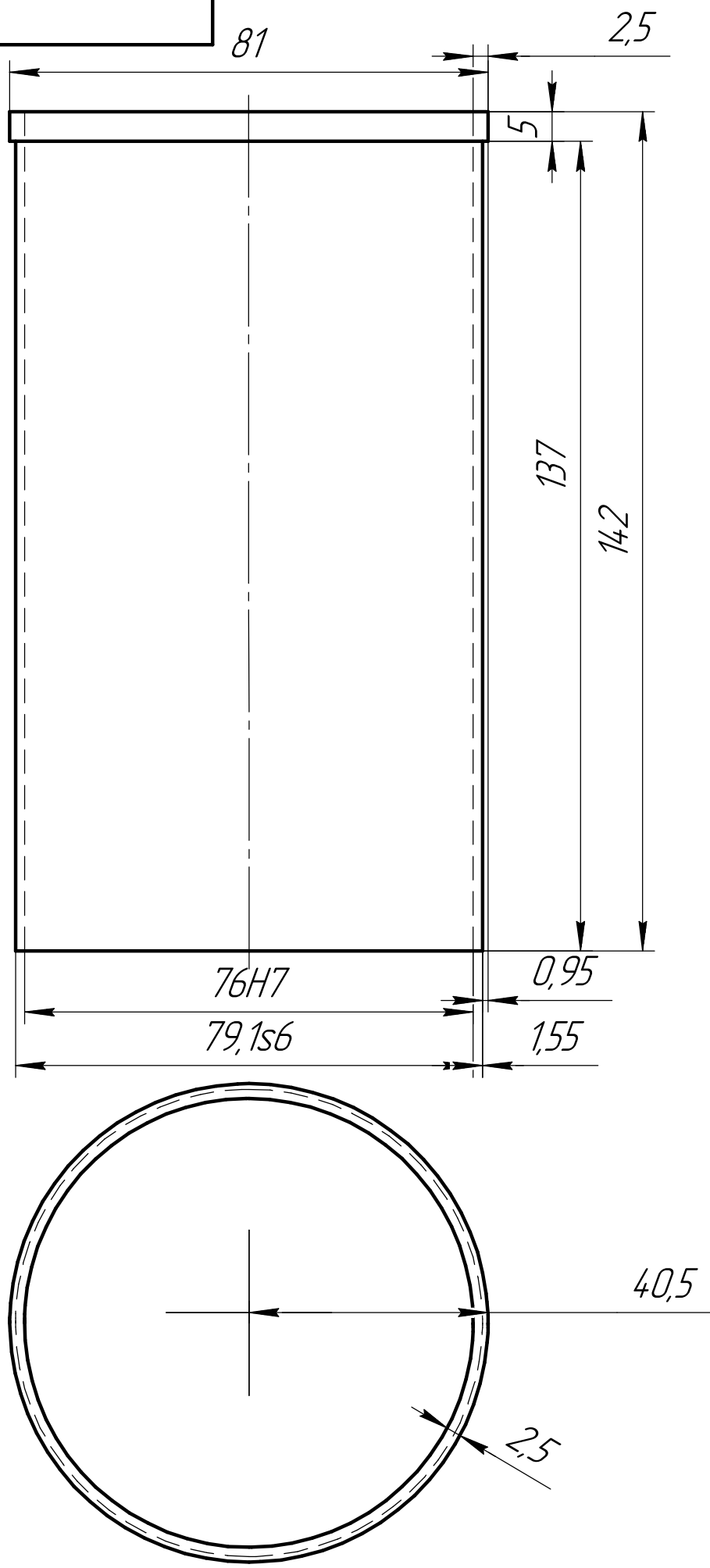
- 1 Wang T, Zha J, Jia Q, et al. Application of low-melting alloy in the fixture for machining aeronautical thin-walled component. *Int J Adv Manuf Tech* 2016;87(9–12):2797–807;
- 2 Guo H, Zuo DW, Wang SH, et al. The application of FEM technology on the deformation analysis of the aero thin-walled frame shape workpiece. *Key Eng Mater* 2006; 315–316:174–9.
- 3 Bao Y. Foundation of mirror milling technology of sheet for aircraft skin manufacturing [dissertation]. Dalian: Dalian University of Technology; 2018.
- 4 He N, Wang ZG, Jiang CY, et al. Finite element method analysis and control stratagem for machining deformation of thin-walled components. *J Mater Process Tech* 2003;139(1–3):332–6.
- 5 Gao YY, Ma JW, Jia ZY, et al. Tool path planning and machining deformation compensation in high-speed milling for difficult-to-machine material thin-walled parts with curved surface. *Int J Adv Manuf Tech* 2016;84(9–12):1757–67.
- 6 Zhen R, Zhou L, Gao D. Development of flexible fixture system for aircraft skin processing. *Mach Manuf* 2009;47(11):68-70 [Chinese].
- 7 Zhou K. Flexible tooling technology for large thin-walled parts of aircraft. *Aeronaut Manuf Technol* 2012;3:34-9 [Chinese].
- 8 Ge MJ, Sun J, Li JF. Study on processing property of thin-walled titanium alloy component with paraffin reinforcement. *Adv Mater Res* 2011;325:321–6.
- 9 Xiang BF, Huang J, Xu JM, et al. Research on the technology of skinned milling mirror support. *Manuf Techno Mach Tool* 2015; (4):92-6 [Chinese].
- 10 Bao Y, Dong ZG, Zhu XL, et al. Research status and development trend of supporting technology for skin mirror milling. *Acta Aeronautica et Astronautica Sinica* 2018;39(4):47-58 [Chinese].
- 11 Gu SF. Chinese. Aerospace Science and Technology (Aviation Volume). 1st ed. Jinan: Shandong Education Press; 1998.
- 12 Huang CK, Lii BT. Quality study of honeycomb core shaping without wax stabilization. *Mater Manuf Process* 2006;2(1):81–6.
- 13 Gandhi MV, Thompson BS. Phase change fixturing for flexible manufacturing systems. *J Manuf Syst* 1985;4(1):29–39.
- 14 Zhong KM, Guo PQ, Wang HY. Fixture technology based on liquid-solid two-phase transition. *Manuf Techno Mach Tool* 1998; (8):3-5 [Chinese].
- 15 Thompson BS, Gandhi MV. Commentary on flexible fixturing. *Appl Mech Rev* 1986;39(9):1365–9.
- 16 Han BZ, Qiu KX, An QL, et al. Experimental research on the freezing process of honeycomb materials. *Tool Tech* 2017;51 (12):14-8 [Chinese].
- 17 Xuchuan Zhao 1, Wenjie Ma 1, Wurikaixi Aiyiti, Ayiguli Kasimu, Ru Jia Investigation of influence of printing modes on the quality of 6-PSS FDM 3D printed thin-walled parts Results in Engineering Volume 17, March 2023, 100926

- 18 <https://www.eplus3d.com/performance-improvements-using-3d-printed-heat-exchangers.html>
- 19 <https://www.epowermetals.com/ru/analysis-on-turning-technology-of-thin-wall-parts.html>
- 20 <https://evrodetal.com.ua/detail/5165936000/yenmak/>
- 21 <https://blog.iqb.ru/3d-printing-titanium/>
- 22 <https://www.autoezda.com/workstationauto/677-rabdvigatelja.html>
- 23 <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%B5%D0%BB%D1%8C>
- 24 <https://www.xometry.com/resources/3d-printing/best-slicer-software-for-3d-printing/>

КОМПАС-3D v21 Учебная версия © 2022 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Косымша А

Справ. №	Перв. примен.
Изм. №	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата
Изм. №	Подп. и дата
Изм. №	Подп. и дата



Техникалық сипаттама
Беттің кедір бұдырлығы $Ra=0.8$ мкм, $Rz=4$ мкм
Квалитет 6

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Гильза		
Разраб.	Сагындыков Н.			20.12.2023			
Пров.					Шойын ГОСТ 1050-2013		
Т.контр.							
Н.контр.					Копировал		
Утв.							
					Лит.	Масса	Масштаб
						0	1:1
					Лист	Листов	1
					Формат А3		

