

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы өнеркәсіптік инженерия институты

Өндірістік инженерия
кафедрасы

Таңатов Айбар Ілиясұлы

«Бұйым жасау кезінде Digital Metal аддитивті технологиясын қолдануды
зерттеу»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

5B071200 – Машина жасау

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы өнеркәсіптік инженерия институты

Өндірістік инженерия

кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі

PhD д-ф, қауым. профессоры

_____Арымбеков Б.С.

«_____» _____ 2020 ж.

Дипломдық жобаға

ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА

Тақырыбы: «Бұйым жасау кезінде Digital Metal аддитивті технологиясын қолдануды зерттеу»

5B071200 – Машинажасау

Орындаған

Таңатов А.І.

Ғылыми жетекші,

PhD д-ф, қауым. профессоры

_____Арымбеков Б.С.

«_____» _____ 2020 ж.

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы өнеркәсіптік инженерия институты

«Өндірістік инженерия»
кафедрасы

5B071200 – Машинажасау

БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі

PhD д-ф, қауым. профессоры

_____ Арымбеков Б.С.

« ____ » _____ 2020 ж.

**Дипломдық жоба орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы Таңатов Айбар Ілиясұлы

Тақырыбы «Бұйым жасау кезінде Digital Metal аддитивті технологиясын қолдануды зерттеу»

Университет ректорының «__» _____ 2020 ж. № ____ -б бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «__» _____ 2020 ж.

Дипломдық жобаның бастапқы берістері бұйым жасау кезінде Digital Metal аддитивті технологиясын қолдануды зерттеу, және салыстыру

Дипломдық жобада қарастырылатын мәселелер тізімі

а) ғылыми-техникалық және патенттік әдебиеттерді шолу және талдау

б) Зерттелетін процессті компьютерлік модельдеу және мүмкіндіктерін салыстыру

в) Binder Jetting технологиясындағы принтерлерге зерттеу

Ұсынылған негізгі әдебиет: 9 атау

Дипломдық жобаны дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәліметтер тізімі	Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
Ғылыми-техникалық және патенттік әдебиеттерді шолу және талдау		
Зерттелетін процесті компьютерлік модельдеу		
Binder Jetting технологиясы		
Байланыстырғышты ағынды өңдеу үшін жобалау		

Дипломдық жоба бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жобаға қойған қолтаңбалары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер, аты, әкесінің аты, тегі (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Норма бақылау			

Ғылыми жетекші _____ Арымбеков Б.С.

Тапсырманы орындауға алған білім алушы _____ Таңатов А.І.

Күні _____ «___» _____ 2020 ж.

АНДАТПА

Берілген дипломдық жобада аддитивті технологияны жан жақты зерттедік. Әр технологияның жеке-жеке қарастырдық, сонымен қатар артықшылықтары мен кемшіліктерін де толық шолу жасадық. Сонымен қатар, Digital Metal технологиясын толық зерттедік. Бұйым жасау кезінде Digital Metal аддитивті технологиясын қолдануды жалпы зерттедік. Digital Metal технологиясына арналған 3D принтерлердің түрлерін және сипаттамаларын толық анықтадық.

Метал ұнтақтарынан, Digital Metal технологиясына арналған 3D принтерімен басып шыққан соң, дайын өнімді пісіру арқылы оның беріктігін арттыруға болатынын толық зерттедік.

АННОТАЦИЯ

В данном дипломном проекте мы всесторонне изучили аддитивные технологии. Мы рассматривали каждую технологию в отдельности, а также проанализировали преимущества и недостатки. Кроме того, мы полностью изучили технологию Digital Metal. В целом мы изучили применение аддитивной технологии Digital Metal при изготовлении изделий. Мы полностью определили типы и характеристики 3D принтеров для технологии Digital Metal.

После печати из металлических порошков, 3D-принтера для технологии Digital Metal, мы полностью изучили, что готовый продукт может повысить его прочность путем сварки.

ANNOTATION

In this thesis project we have thoroughly studied the technology of additive manufacturing. We looked at each technology individually, and analyzed the advantages and disadvantages. In addition, we have fully explored the Digital Metal technology. In General, we have studied the application of additive technology Digital Metal in the manufacture of products. We have fully defined the types and characteristics of 3D printers for Digital Metal technology.

After printing from metal powders, 3D printer for Digital Metal technology, we have fully studied that the finished product can increase its strength by welding.

МАЗМҰНЫ

	Кіріспе	7
1.	Құрылымдық бірліктің сипаттамасы, материалы және оның қасиеттері	8
1.1	Диплом тақырыбы бойынша ғылыми-техникалық және патенттік әдебиеттерді шолу және талдау	8
2	Зерттелетін процесті компьютерлік модельдеу	9
2.1	Digital Metal мүмкіндіктерін салыстыру	12
2.2	3D-басып шығаруға арналған материалдар	14
3	Binder Jetting технологиясы	16
3.1	Металл байланыстырғышты ағынды өңдеу кезеңдері	17
4	Байланыстырғышты ағынды өңдеу үшін жобалау	22
	Қорытынды	30
	Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	31

КІРІСПЕ

Қазіргі уақытта өндірісті тез өзгерту және қайта жөндеу қажеттілігі бар. Мысалы, Digital Metal шығын мен тапсырысты орындау мерзімін бір уақытта төмендету кезінде түпкілікті мақсаттағы күрделі бөлшектерді тікелей өндіруді жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Бір немесе бірнеше ішкі арналары бар компоненттерден аэроғарыштық өнеркәсіп үшін жеңіл конструкцияларға дейін күрделі металл бөлшектерін қамтитын кез келген қолдану біздің бірегей жоғары дәлдіктегі технологиядан әлеуетті ұтады.

Digital Metal басты артықшылықтарының бірі-ішінара шоғырландыру. Бұрын бірге жиналуға талап етілген бөлшектерді енді уақыт пен ресурстарды үнемдеп, бір компонент ретінде басып шығаруға болады. Ұзақ мерзімді перспективада бөлшектердің аз саны аз техникалық қызмет көрсету мен сервистік қызмет көрсетуді білдіреді. Өте дәл процесс арқасында Digital Metal технологиясы үлкен өлшемді дәлдігі мен ауыспалы диаметрлі өте ұсақ тесіктері бар бөлшектерді жасау үшін пайдаланылуы мүмкін. Аэроғарыштық өнеркәсіп сияқты көптеген қолдану салаларында, 3D металл басып шығару салмақ азайту мүмкіндігін қамтамасыз етеді.

Digital Metal сіз қажетті жерде ең жоғары функционалдылық және беріктілік үшін компоненттерді жобалау және басқа салаларда материалды азайту мүмкін.

1 Құрылымдық бірліктің сипаттамасы, материалы және оның қасиеттері

1.1 Диплом тақырыбы бойынша ғылыми-техникалық және патенттік әдебиеттерді шолу және талдау

2012 жылдың қарашасында Швед металл ұнтақтарын өндіруші Högånäs AB ұнтақ технологиясын қолдануды кеңейту жөніндегі компанияның тұжырымдамасы шеңберінде fcubic AB сатып алды. Сатып алуға бірінші кезекте патенттер, сараптамалық Білім және металл компоненттерге арналған бірінші буын 3D-принтері кірді. Содан кейін компания атауы Digital Metal AB-ға өзгертілді. Содан бері Хеганаста 3D-технологияны пайдалана отырып, өнім өндіруге арналған технологиялық желі салынды және қазіргі уақытта екінші буын 3D-принтері іске қосылды.

Digital Metal AB, Хеганас штаты, металл компоненттерін өндірудің революциялық және инновациялық технологиясын ұсынады. Бұл аддитивті өндіріс үшін патенттелген технология және металл компоненттер мен жүйелерді 3D-басып шығару және металл бөлшектер үшін өте күрделі және күрделі конструкциялар мен функцияларды экономикалық тиімді өндіруге бірегей мүмкіндік ұсынады.

Аддитивті өндіріс-бұл күрделі және қымбат құрал-саймандарды пайдалану қажеттілігінсіз және ең аз қалдықтармен тікелей 3D-CAD деректерінен компоненттерді жасау процесі. Қазіргі уақытта бұл технология тәжірибелік үлгілерді өндіруге бағыттаудан сериялық компоненттерді жылдам өндіруге көшу процесінде тұр.

Бүгінгі күні осы технологиядан алынатын табыстардың көп бөлігі пластикалық бөлшектерді өндіруге жатқызылуы мүмкін, ал, 3D-басып шығару арқылы металл бөлшектерді өндіру одан әрі өміршең болады. Металл бөлшектерді аддитивті жасаудың негізгі әдістері лазерлік немесе электронды-сәулелік балқыту немесе ұнтақты қабатта дәлме-дәл ағынды өңдеу болып табылады.

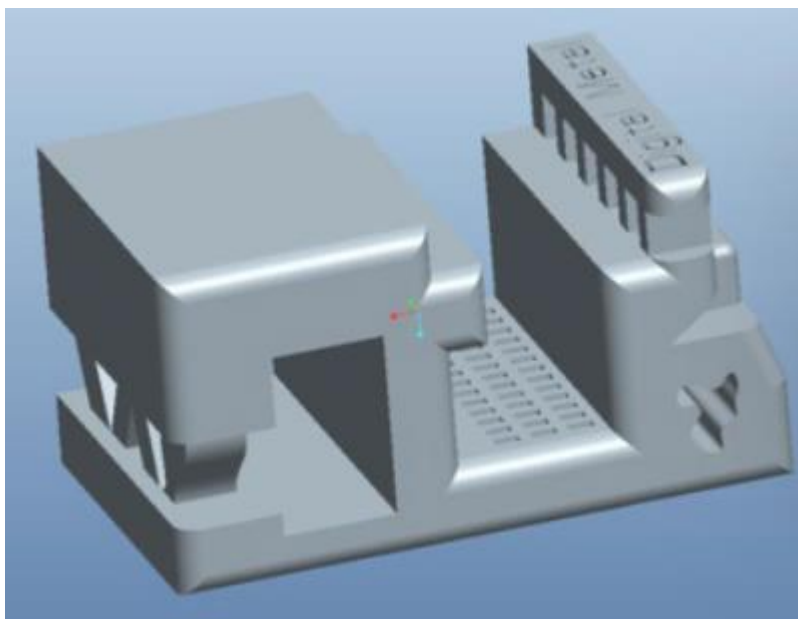
Қалыпты өндіріс үшін бастапқы іске қосу шығындары, әдетте, ЧПУ бар станоктарды жабдықтаудан немесе орнатудан жоғары, бірақ әрбір компоненттің құны өндіріс көлемінің ұлғаюымен төмендейді. 3D басып шығаруды бастау үшін бастапқы құны төмен CAD файлы ғана қажет етеді. Шығындардың кейбір жақсартуларына келесі өңдеу кезеңдерін жақсарту есебінен көлемдермен қол жеткізуге болады. Аддитивті өндірістің құнындағы тағы бір айырмашылық бұл процесс жалпы қалыпты технологияларға қарағанда форманың күрделілігімен шектелмеген. Пішін күрделі болған сайын, қарапайым процестердің көмегімен бөлшекті жасау құралы неғұрлым озық болуы керек. Бұл шығындардың дамуына елеулі әсер етеді.

2 Зерттелетін процесті компьютерлік модельдеу

Höganäs компаниясының Digital Metal® жүйесі ұнтақ төсенішіндегі прецизионды ағынды басып шығаруға негізделген. Компоненттер бастапқы 3D немесе CAD файлынан қабаттан тыс қабат жасалады. 3D файл 45-микронды ұнтақ қабатына сәйкес келетін 2D-файлға дайындалады және кесіледі. Жинақтауға арналған қорапта өлшемі 45 микрон ұнтақ қабаты жағылады және принтер беті бойынша өтеді және 2D-файлдан алынған ақпарат негізінде тиісті дақтарға сия жағады.

Модельдеу SolidWorks бағдарламалық кешенінде 0.15-ке тең геометриялық ұқсастық коэффициентімен жүргізілді. STL(stereolithography) файлы қалыңдығы 42 мкм екі өлшемді қабаттарға кесіледі, содан кейін Digital Metal принтер оқи алатын жаңа файлда сақталады. Осыдан кейін ашық бастапқы коды бар Slic3r бағдарламасының көмегімен STL нысанды G-code файлға түрлендіру жүргізіледі. (1.3-сурет)

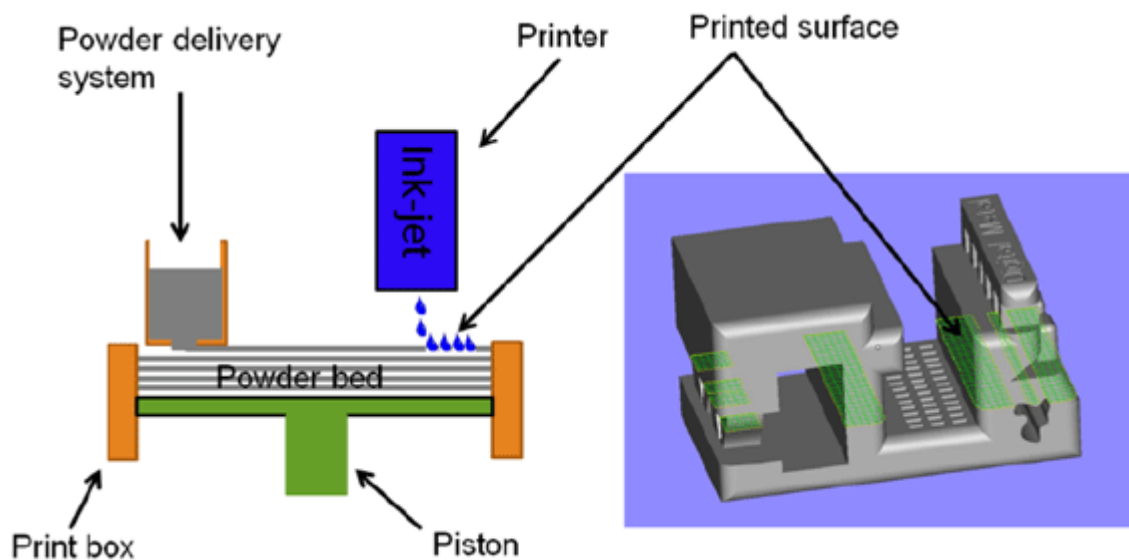
Бұл компонент бастапқы 3D файлына сәйкес қалыптасқанға дейін қабат үшін қайталанатын. Жинау уақыты қазіргі уақытта сағатына шамамен бір см құрайды, бірақ жинау қорабын басып шығару бір компонент бар ма немесе компоненттер толық ма қарамастан, жинау қорабын басып шығару сияқты уақыт алады.



2.1 сурет – 3D CAD файлы

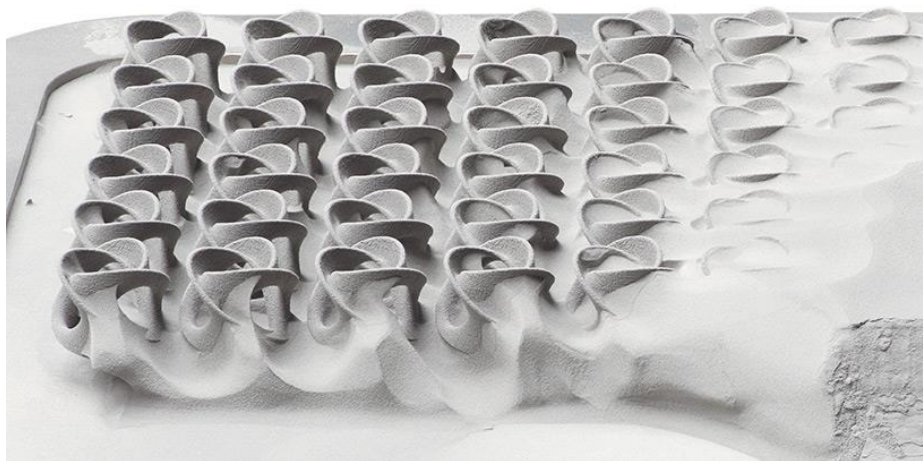
Бөлшектер қабатты, әрбір қабатқа байланыстырғыш металл ұнтағын жағу арқылы жасалады. Басып шығару бөлме температурасында жиналмалы жәшікте болады, ол ешқандай қорғаныс атмосферасын талап етпейді. Ешқандай тірек қажет емес, себебі басып шығару кезінде балқыту болмайды. Қоршаған ұнтақ

деповерді жеңілдететін және кейінгі өңдеу қажеттілігін азайтатын жеткілікті қолдауды қамтамасыз етеді.



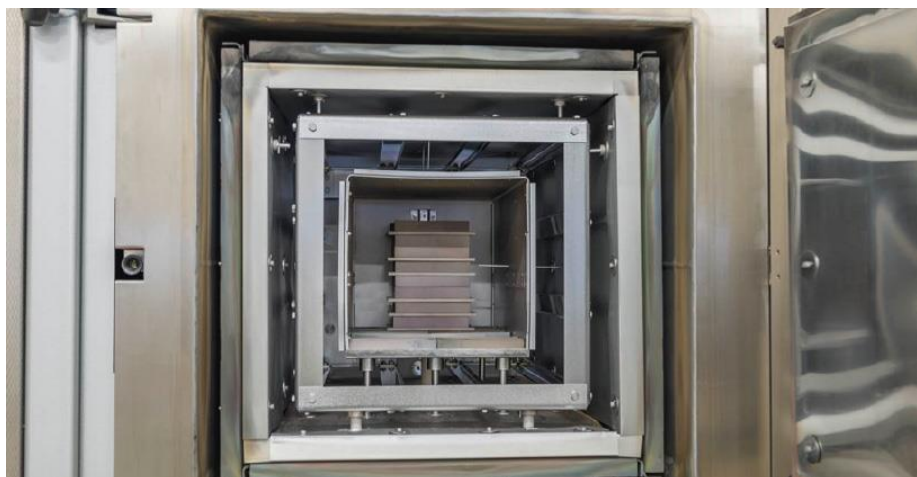
2.2 сурет – Digital Metal басып шығару процесі

3D принтерде басылған компоненттер ұнтақ қабатынан алынады. Барлық сусымалы ұнтақ жойылады және қайта қолданылады.



2.3 сурет – Depowdering

Баспа компоненттері қолданыстағы стандарттарға сәйкес материалдың тығыздығын және дұрыс қасиеттерін алу үшін пісіріледі. Басып шығару және термоөңдеу-бұл материалдардың кең таңдауын қолдануға мүмкіндік беретін жеке процестер. Процестің әрбір кезеңі әр материал үшін оңтайландырылуы мүмкін.



2.4 сурет – Жентектеу(Спекание)

Баспадан кейінгі мәрелік өңдеу компоненттерді ұнтақ қалдықтарынан тазарту және соңғы өлшем мен беріктікке жету үшін жентектеу қамтиды. Жентектеуден кейін беттің кедір-бұдырлығы әдетте Ra6 кұрайды, бірақ RA 3 немесе жақсы бет өңдеу дәстүрлі процестері арқылы оңай жақсартылуы мүмкін.

1 Жентектеу кезінде га 6,0 мкм бетінің орташа сапасына қол жеткізіледі.

2 Рихтовка, бытыраңқы өңдеу және акробатика бетінің сапасын орташа Ra 3,0 мкм дейін арттырады.

3 Superfinish беттің жоғары сапасын қамтамасыз етеді, Ra 1,0 мкм.



2.5 сурет – Алған өнімнің Ra айырмашылық бейнесі

2.1 Digital Metal мүмкіндіктерін салыстыру

Металдар негізіндегі АМ-процестер 1990-ші жылдары әзірленді және көп ұзамай нарықта пайда болды. Бүгінгі күні қол жетімді АМ metal көптеген түрлі технологиялары бар. Олардың ең көп таралған кейбір төменде аталған. Кестеде әрбір технологияның күшті және әлсіз жақтарын шолу көрсетілген.

2.1 кесте – Digital Metal мүмкіндіктерін салыстыру кестесі

	Кіші сериясы	Бөлім күрделілігі	Өнімділік	беттік өңдеу	Разрешение	Бөлшектің өлшемі	Материалдар
SLM	++	++	0	0	+	+	++
EVM	++	++	+	-	-	+	0
DED	++	+	++	-	-	++	+
Digital Metal	++	++	+	+	++	-	+
MIM	--	0	++	++	++	-	++

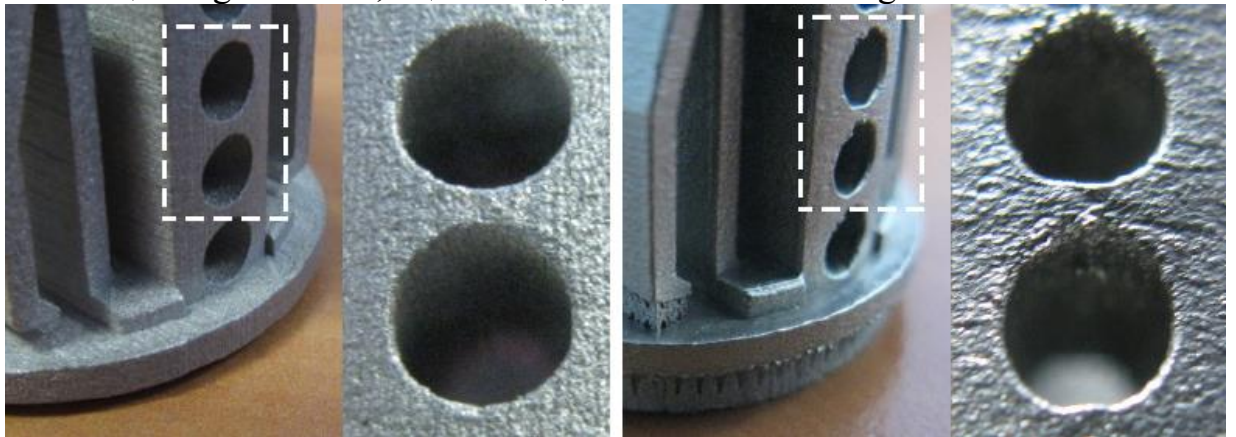
Digital Metal компаниясы өндірген жоғарыда келтірілген кесте оның технологиясы мен өнеркәсіптік тәжірибесіне негізделген балама өндірістік үдерістерді бірінші көзқарастан салыстыруға мүмкіндік береді. Ол SLM (селективті лазерлі балқыту), EVM (электронды-сәулелі балқыту), DED (тікелей энергетикалық Тұндыру) және MIM (қысыммен металл құю) сияқты қарапайым технологиялар сияқты АМ-процестерді салыстырады.

Барлық АМ технологиялары өздерінің артықшылықтары мен кемшіліктері бар, әрбір ұйым олардың қолданбалы қажеттіліктері үшін ең жақсы екенін ескеруі тиіс. Барлық АМ технологиялары прототиптеу немесе ұсақ сериялы өндіріс үшін тиімді, бірақ өнімділікті арттыру үшін балқыту кезінде пайдаланылатын энергияның көп мөлшері аз күрделілікке және бетінің шектеулі шешілуіне әкеледі, ал MIM тек 2D және шын мәнінде шағын қолдану үшін өнімді болып табылады. Салыстырмалы Digital Metal бірегей комбинацияны ұсынады, өйткені ол бөлшектердің жоғары дәлдігін қамтамасыз етеді, жұқа беттер, басып шығару шақтамалары және біртектес және жеке болуы мүмкін бір баспада бірнеше бөлшектердің жоғары өнімділігін.



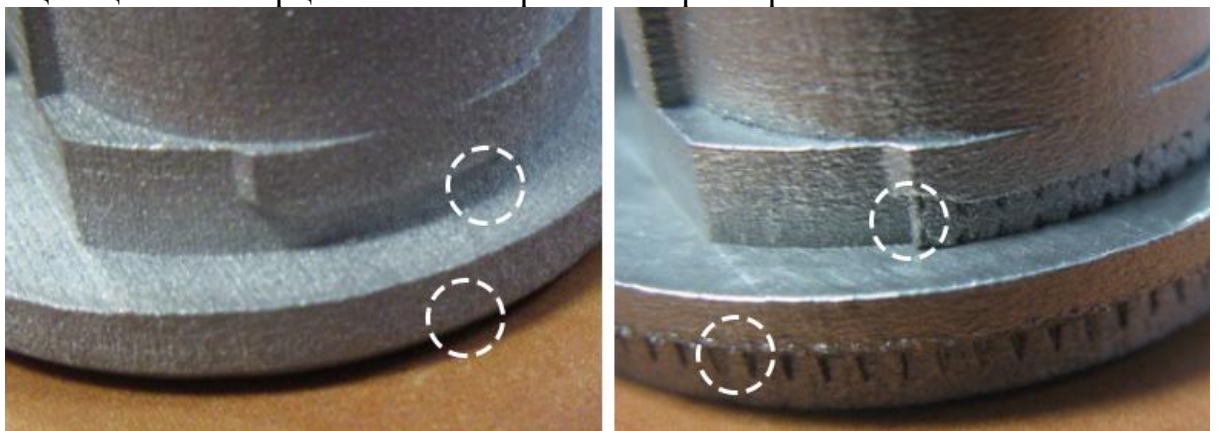
2.6 сурет – Бет сапасы: Digital Metal 316L, SLM CoCr, SLM Ti6Al4V

Сол жақта Digital Metal, оң жағында Laser Beam Melting



2.7 сурет – Дәлдігі

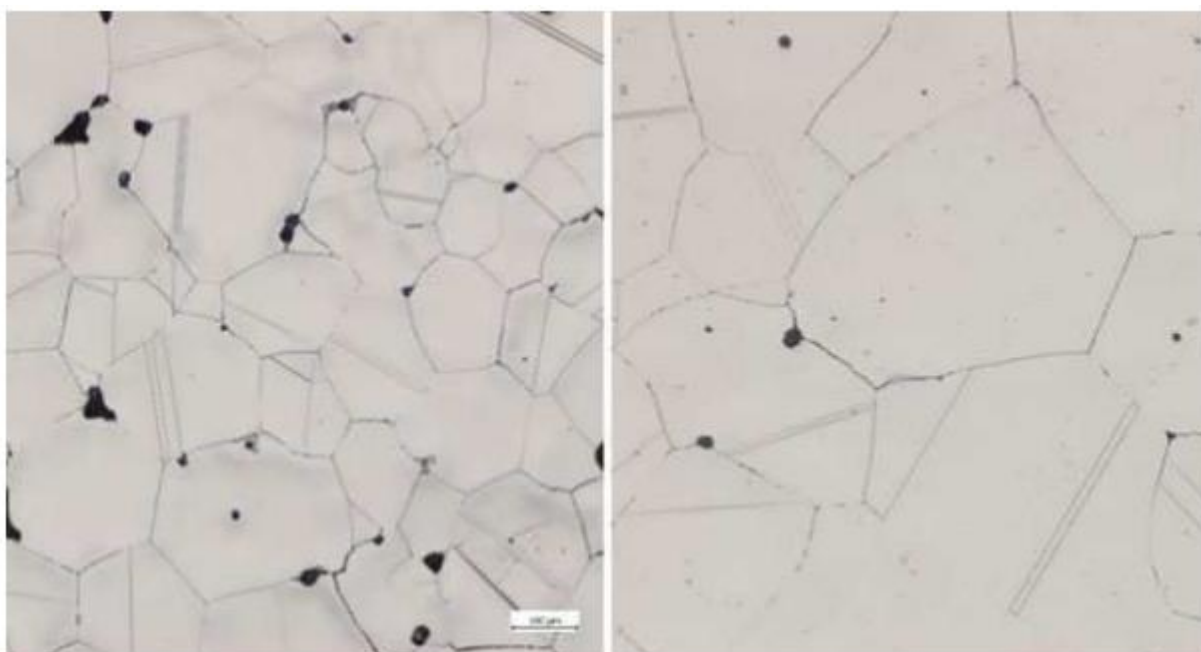
Сол жақта: Digital Metal үшін қажетті тірек конструкциясы жоқ
 Оң жақта: SLM арқылы жоюға арналған тіректер



2.8 сурет – Еңбек өнімділігі, тірек конструкцияларының болмауы

2.2 3D басып шығаруға арналған материалдар

Digital Metal басып шығару үшін түрлі материалдардың кең спектрін ұсынады. Жаңа материалдар үнемі әзірлеу сатысында және мұқият тестілеуден кейін оңай қол жетімді болады. Аэроғарыштық және автомобиль өнеркәсібі саласындағы ірі компаниялардан бірнеше рет сұраудан кейін енді екі жаңа супер балқитын материалды іске қосады-DM 247 (MAR M247) және DM 625 (Inconel 625). MAR M247 дәнекерлеуге берілмегендіктен, оны SLM сияқты лазерлік өндіріс әдістері үшін пайдалану мүмкін емес. Алайда, байланыстырғыш ағысты өңдеу және Digital Metal өндірісінің бірегей технологиясы осы және басқа да дәнекерленбейтін материалдарды пайдалана отырып, жоғары дәлдікті компоненттерді басып шығаруға мүмкіндік береді.



2.9 сурет – Микроталдау(DM 247, DM 625)

2.2 кесте – Материалдық деректер-типтік мәндер

	Созылудың шекті беріктігі	Тұрақсыздық шегі (0,2%)	Ұзарту	Қаттылық	
	MPa	MPa	%	HRB	HRC
316L	520	180	50	55	
17-4PH	900	730	6		25
Ti6Al4V	890	790	8		25
DM 625	660	310	50	78	
DM 247	1200	750	16		25

2.3 кесте – Химиялық құрамы (%)

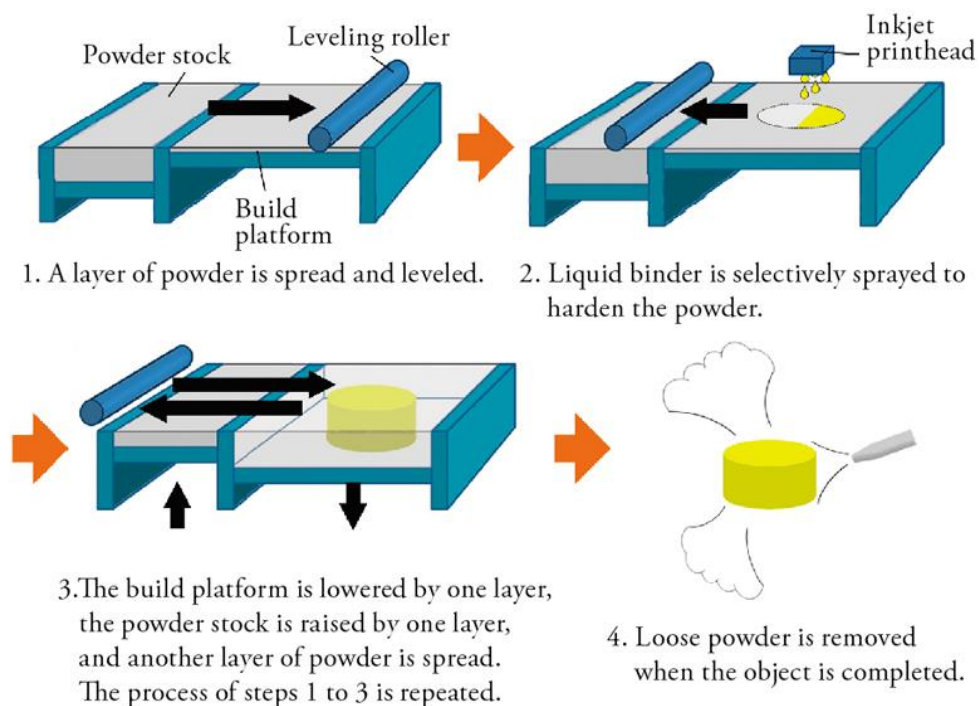
	Fe	Cr	Ni	Mo	Cu	Nb+Ta	Ti	Al	V
316L	Bal	16-18	10-14	2-3	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
17-4H	Bal	15.5-17.5	3-5	n.a	3-5	0.15-0.45	n.a	n.a	n.a
Ti6AlV	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	Bal	5-7	3-5

Материал	C	Cr	Mo	Nb	Co	B	Ti	Hf	Ta	Zr	W	Al	Fe	Ni
DM 625	n.a.	22.0	9.0	3.6	n.a.	n.a.	n.a	n.a	n.a	n.a.	n.a	n.a	5.0	Bal
DM 247	0.13	8.4	0.65	n.a	10.0	0.015	1.0	1.3	3.0	0.05	9.8	5.4	n.a	Bal

3 Binder Jetting технологиясы

Байланыстырғыш ағысты қоспаларды өндіру технологиясы Пластмассаларды, керамика мен құм құю материалдарын қоса алғанда, өнеркәсіптің әртүрлі салаларында қолданылады,оның ішінде олардың барлығы да ұқсас қағидатқа сай келеді. Алайда, бұл бөлім тек қазіргі уақытта бар металға арналады, қысқаша айтқанда, металл бөлшектерді бірге қорытуға лазер немесе электрондық сәуле сияқты жылу көзін пайдаланудың орнына бөлшектер алдымен "желімдейді" қалаған геометрияны жасау үшін бірге, бөлшектерді бірге қорытуға қайталама термоөңдеу процестері орындалмас бұрын.

Қазіргі уақытта AG байланыстырғыш ағысты жүйелерінің негізгі жеткізушісі-ExOne металл ұнтақтарын пайдалана алатын компания. Бұл бөлім негізінен технологиялар мен жүйелерге арналады ExOne ұнтақ қабатының қорытпалау әдістеріне өте ұқсас процесс, Хоппер ұнтақ металл ұнтақпен толтырылған және жұқа қабат құрылым платформасы арқылы тазалағыш арқылы таралған. Содан кейін ағын түрінің басы сұйық байланыстырғыш материалдың көптеген ұсақ тамшысын таңдап, ұнтақ бөлшектерін бірге жабыстырады. Содан кейін байланыстырушы жартылай жылу немесе ультракүлгін жарық арқылы келесі ұнтақ қабатын жағу арқылы қатырылады. Бұл процесс компонент нысаны құрылғанға дейін бірнеше рет қайталанады. Қазіргі уақытта бұл бөлік "жасыл бөлік" деп аталады, бұл ұнтақ бөлшектері пішін геометриясын сақтай алатындай жолмен өзара байланысты.



3.1 сурет – Binder Jetting технологиясы жұмыс істеу принципі

Дегенмен, жинау қолмен оңай сынуы мүмкін, себебі ұнтақтың жекелеген бөлшектері физикалық бір-бірімен байланысты емес. Бөлшектердің жасыл беріктігін арттыру үшін, барлық жинау көлемі жойылады және екінші толық қатайту кезеңі үшін қатайту пешіне салынады, содан кейін олар ұнтақ қабатынан жойылады. Компоненттер кез келген шашыраңқы ұнтақты алып тастау және оларды процестің қорытынды кезеңіне дайындау үшін сығылған ауамен шашырайды.

Металл материалдарды аддитивті өндіру жентектеу сатысында жүзеге асырылады. Ыстық изостатикалық престеу (HIP) өте тығыз компонентті алу үшін іске асырылуы мүмкін; бұл процесс кез келген ішкі кеуектікті жоюға көмектесу үшін қысым мен жылуды қолданады. Байланысушының ағысты тұндыру жүйесі ұнтақты қабаттың немесе тікелей энергетикалық тұндыру жүйелеріне едәуір арзанырақ, ең алдымен, орнатудың салыстырмалы қарапайымдылығына және лазер немесе электрондық сәуле сияқты қымбат жылу бөлу көзінде қажеттіліктің болмауына байланысты. Сонымен қатар, бүрку процесі бөлме температурасында жүзеге асырылатындықтан, ұнтақты қорғау үшін инертті газды пайдаланудың қажеті жоқ. Бірақ агломерациялық пешке немесе HIP жабдығына қол жеткізуге ерекше талаптар бар және металлдарды таңдау қазіргі уақытта басқа ұнтақты процестерге қарағанда айтарлықтай аз.

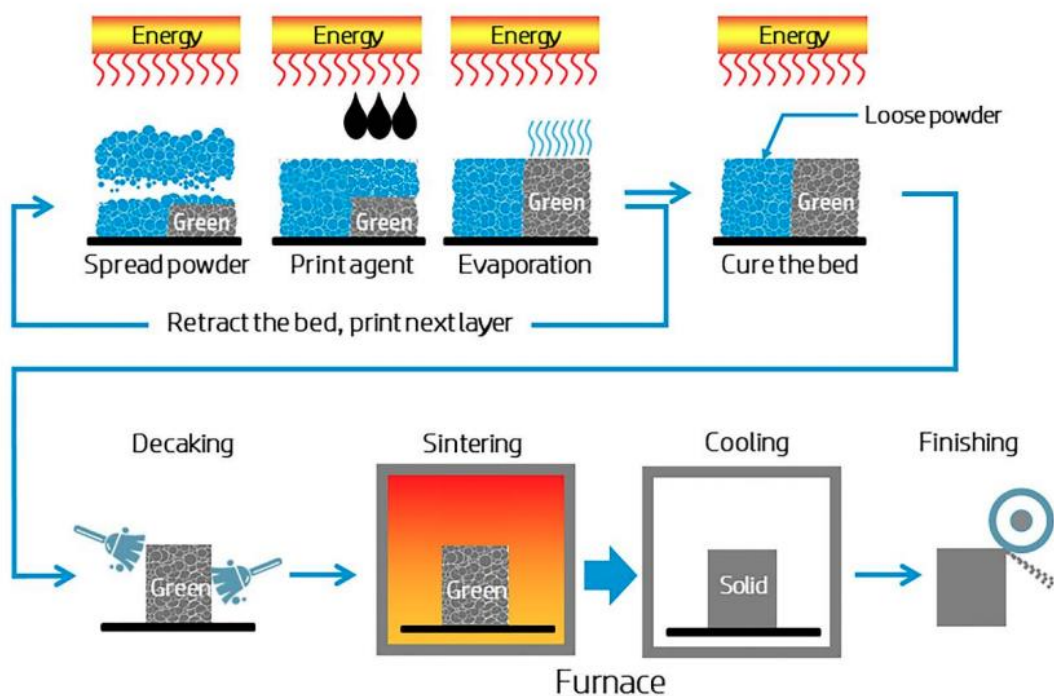
Жұмыс істеу принципі: байланыстырғышты ағынды өңдеу процесінде екі материал қолданылады: ұнтақ негізіндегі және байланыстырғыш материал. Байланыстырушы зат ұнтақ қабаттары арасындағы желім ретінде әрекет етеді. Байланыстырушы әдетте сұйық түрде, ал құрылыс материалы-ұнтақ түрінде. Басып шығару басы машинаның X және y осьтерінің бойымен көлденең жылжиды және құрылыс материалдары мен байланыстырғыш материалдың кезектесетін қабаттарын қояды. Әрбір қабаттан кейін басылатын объект өз құрастыру платформасына түсіріледі.

3.1 Металл байланыстырғышты ағынды өңдеу кезеңдері

1 Қатайту жасыл бөлшектердің беріктігін арттырады, сондықтан оларды қауіпсіз баспа өтіріктен жоюға болады. Осы процесс кезінде бөлшектер шамамен 200°C температурада бірнеше сағат бойы пешке шындалады, нәтижесінде әлдеқайда берік бөлшектер алынады.

2 Қатаюға қарамастан, металл бөлшектер әлі де кеуекті болады. Алайда, сіз пісіру немесе инфильтрация процестерінің көмегімен бөлшектердің кеуектілігін айтарлықтай азайтуға болады. Әдетте, жентектеу процесі 24-36 сағат ішінде шамамен 100°C термиялық өңдеуге ұшырайтын және байланыстырушы жанатын атмосферасы бар пеште жүреді. Бұл металл бөлшектерді бірге қорытуға көмектеседі және төмен кеуектілігі бар берік металл бөлшектерді алуға әкеледі. Алайда, жентектеу бөлшектің біркелкі

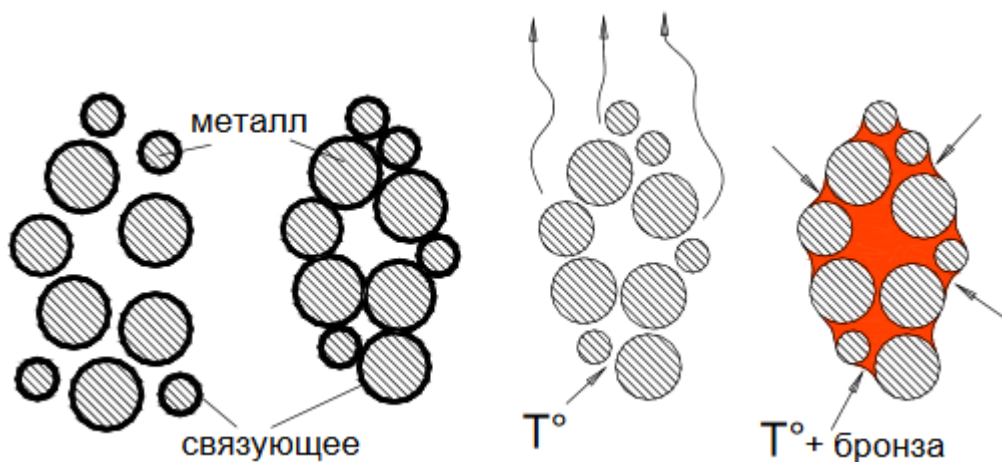
шөгуін тудыруы мүмкін және болжауға қиын болуы мүмкін-сондықтан мұны жобалау сатысында ескеру қажет.



3.2 сурет – Металл байланыстырғышты ағынды өндеу кезеңдері

3 Жоғары тығыздыққа қол жеткізу үшін, бөлшек өртейтін байланыстырғыш затпен қалған қуыстарды толтыру үшін инфильтрлеу қажет болады. Осы кезеңдерден кейінгі өндеуден өту металл бөлшектің механикалық қасиеттерін едәуір арттырады; мысалы, тот баспайтын болаттан жасалған қола инфильтрациясы кезінде 95% соңғы тығыздыққа қол жеткізуге болады.

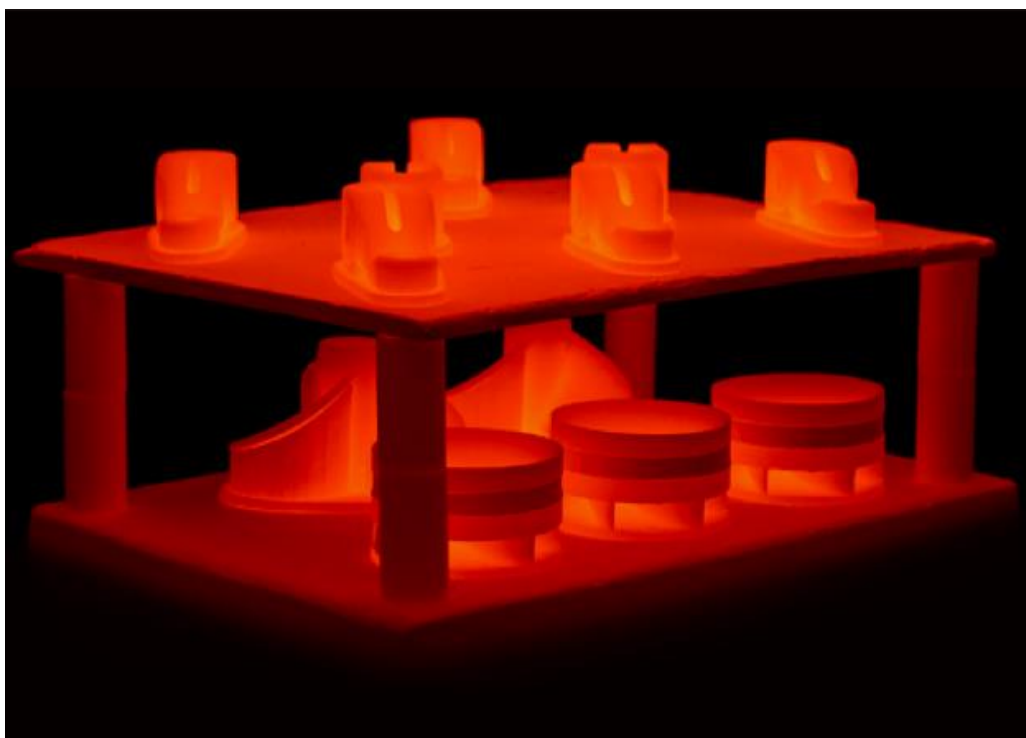
4 Ақырында, қосымша болса да, бөлшек жылтыратылуы және бетінің эстетикалық әрленуін қамтамасыз ететін алтынмен немесе никельмен жабылуы мүмкін.



3.3 сурет – Металл байланыстырғышты ағынды өндеу кезеңдері

Технологиялардың ерекшелігі-алдымен АМ-машинасында "green-модель" (жартылай фабрикат) деп аталатын өсіреді. Өсіру процесі матрицалық материалды – Болат ұнтақты қабаттап бекітуден тұрады. 3D Systems бұл үшін жалатылған металл ұнтағын пайдаланады (арнайы миксердегі ұнтақ байланыстырғышпен алдын ала араласады, бұл жұқа қабатпен байланыстырушы ұнтақ бөлшектерін орайды).

Машинада құру кезінде лазер байланыстырушы балқытады және ұнтақты бір-бірімен байланыстырады. Содан кейін грин-модель пешке салып, байланыстырғышты алып тастайды. Содан кейін иакнатываемую инфильтрация – балқытылған қола моделін сіндіреді. Процесс схемасы шартты түрде суретте көрсетілген. 19. ExOne(АҚШ) машиналарында грин-модель Ink-Jet(немесе Binder Jetпо ASTM классификациясы) технологиясы арқылы алынады: байланыстырушы реагент матрицалық материалдың алдын ала қалыптасқан қабатына құру процесінде бүрку.Сонымен қатар, басқа жағдайларда грин-модельді машинадан алады, еркін ұнтақтан мұқият тазартып, пешке қорғаныш ортамен (әдетте N2) орналастырады, онда 1000-1100°C температурада балқытылған бр сіндіргіш-үлгісін шығарады.



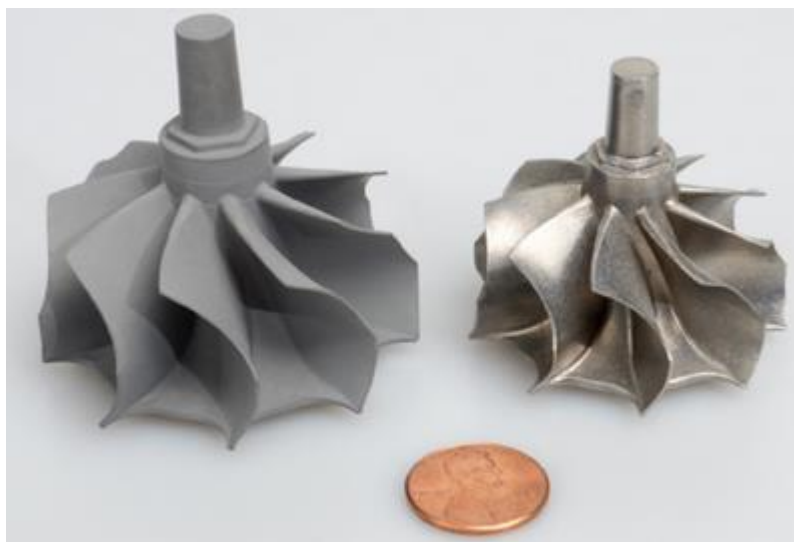
3.4 сурет – Жентектеу(Спекание)

Суретте пешке салар алдында өсірілген грин-модель көрсетілген. Периферия бойынша түйісу моделінің қоректендіргіштері орналасқан, оларда қола бөренелер орнатылған. Пеште қола балқытылады және Қоректендіргіштер арқылы капиллярлық әсердің есебінен грин-модельдің денесіне түсіреді. Осылайша, бұйым конгломератсталь болып табылатын материалдан алынады –

60% және қоладан-40%, оның аты әлі ойлап таппаған. Бөлшектер бетінің тазалығы жеткілікті жақсы-Ra 5-10, қабырға қалыңдығы 1 мм. Алайда беріктік қасиеттері жоғары емес: созылу кезіндегі беріктік шегі 610 МПа; қаттылығы жоғары емес – HRC= 10-20. Бұл технологиялар пластмасса құюға арналған жабдықтарды жылдам жасау үшін (пресс-формалар 200-500 мың циклға дейін ұстайды), сондай – ақ үйкеліс жағдайында жұмыс істейтін бөлшектерді сериялық өндіру үшін қолданылады-тісті берілістер, біліктер, төлкелер және т. б. мысалы, m-Print компаниясының машиналары тісті доңғалақтар мен сорғылардың жұмыс органдарын сериялық өндіру үшін қолданылады. Бұл машиналар биіктігі бойынша 6 мм/с дейінгі жылдамдықпен грин-модельдер құрастырады, бұл жұмыс аймағының (XY) мөлшері 780x 400 мм болғанда 1780 см³в сағ өнімділігіне тең, бұл лазерлік технологияларды пайдалану кезіндегі тәртіпке қарағанда жоғары. M-Lab машинасында ұнтақты силикатты шыныдан жасалған бөлшектерді (кейіннен пісірумен) өсіруге болады.

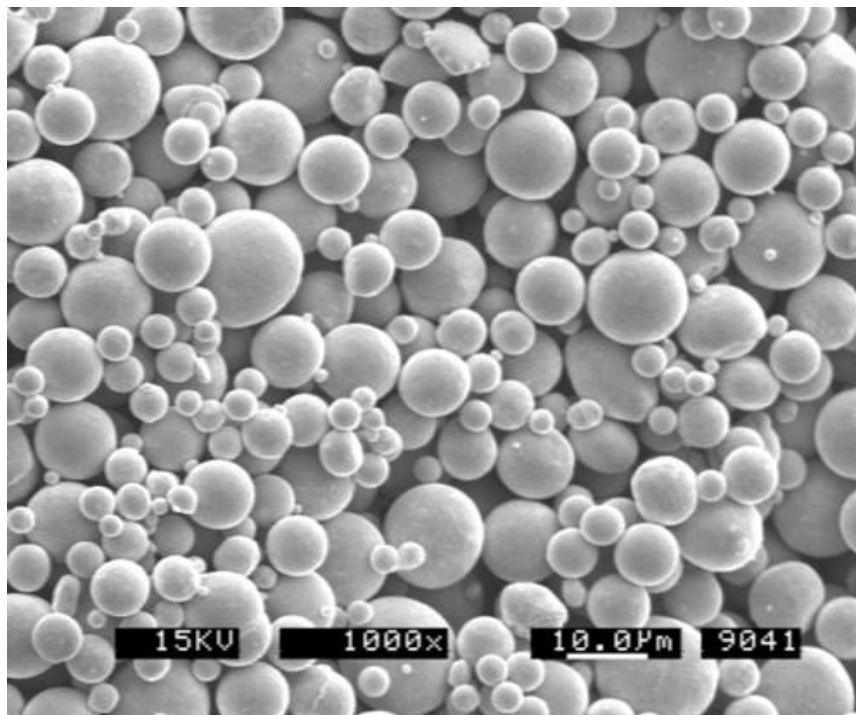
Жылу қосымшасын жентектеу сатысына ауыстыру жылу кернеулерін басқаруды жеңілдетеді, өйткені жентектеу температурасы балқытудың толық температурасынан төмен, металдарды қысыммен өңдеу процестерінің көпшілігінде талап етілетін және жылу біркелкі қолданылады. Алайда, бұл температура градиенттерінің және осы қалдық кернеулердің нәтижесінде пайда болатын проблемаларын толық жоймайды.

Пеште бөлшектер жұқа секциялары қалыңдық өзгертін бөлшектер секциясына кернеуді енгізе отырып, неғұрлым қалың секцияларға қарағанда қыздырылады және тез пісіріледі. Бөлікті пісіргеннен кейін салқындату циклі осы әсерді одан әрі күшейтеді. Бұл температуралық градиенттер мен кернеулер бөлшектерді деформациялай және зақымдай алады, сондай-ақ материалдың қасиеттеріне әсер ететін біртекті емес түйіршікті құрылымдарды жасай алады.



3.5 сурет – Металл байланыстырғышты ағынды соңғы өңдеу кезеңі.

Металл байланыстырғыштарды ағынды өңдеу үшін бөлшектер көлемі 5-45 мкм шағын сфералық ұнтақтар қажет. Ол қысыммен металл құю өнеркәсібінде (МИМ) пайдаланылатын сол металл шикізатты пайдалана алады. Бұл ұнтақ қорытпасымен (PBF) салыстырғанда негізгі артықшылығы болып табылады, өйткені бастапқы шикізат шамамен құнының жартысын құрайды, көп металдар қол жетімді және тұрақты Ғаламдық жеткізу тізбегі бар.



3.6 сурет – Байланыстырғыштың ағынды жағылуы, микроталдау

Байланыстырғыштың ағынды жағылуы бүгінгі күні кеңінен қолданылатын металдарды қысыммен өңдеу процесінің көптеген мәселелерін шешеді, атап айтқанда оның жылдамдығы, құны және масштабталуы. Алайда, ол бөлшектердің тығыздығын, беріктігін, мөлшерін, қалыңдығы мен дәлдігін қоса алғанда, өз проблемалар жиынтығын енгізеді. Бұл metal AM негізінен қарастырмаған жаңа қолданбалар үшін қолданылады.

Аз, жұқа және күрделі геометриялы шағын және орташа көлемді бағдарламалар үшін байланыстырғышты ағысты өңдеу өнеркәсіптің бірқатар салаларына әсер етеді: автомобиль, медициналық, өнеркәсіптік және тұтынушылық. Бірақ бұл уақыт қажет. МИМ бүгінде құны 3 миллиард долларға жуық нарық құрып, өндірістік қосымшалардың үлкен санын анықтау және тексеру үшін бірнеше онжылдықтар қажет болды. Binder Jetting бұл бәліштің шағын бөлігін жеуге болады, бірақ уақыт өте келе mim тамаша шешім емес, жаңа, төмен көлемді мүмкіндіктері бар нарық өседі.

Байланыстырғышты ағысты өңдеу үшін жұмыс істейтін жақсы қаржыландырылатын компанияларда кемшіліктер жоқ. ExOne, Digital Metal және 3DEO нарыққа бірінші болып шықты – сондықтан қазіргі уақытта

олардың ең жақсы процестері мен саланың өндірістік талаптарын қалай қанағаттандыратынын жақсы түсінуі бар. Desktop Metal, GE, HP және Stratasys сияқты жаңа ойыншылар капитал мен технологиялық тәжірибенің үлкен көлемін әкеледі (мысалы, HP ондаған жылдар бойы ағысты технологияларды әзірлейді), бірақ олардың байланыстырушы ағысты өңдеу шешімдері әлі де нашар күйде. Көптеген байланыстырушы ағын өндірушілер күшті экожүйенің қажеттілігін мойындайды және оларды әзірлеу мен нарыққа шығуды жеделдету үшін кейбір жетекші мим өндірушілерімен және ұнтақтарды жеткізушілермен ынтымақтасады. Бірінші болып нақты, құнды қосымшалар үшін сенімді өндірістік шешімдерді әзірлейтін және көрсететін компаниялар жеңеді.

Бұл OEM байланыстырғыш және жарнамалық принтер немесе сервистік қызмет көрсету мүмкіндіктерінің кестесі, егер сіз олардың қайсысы қолданба қажеттіліктеріне сәйкес келетіндігін анықтағыңыз келсе, пайдалы болуы мүмкін.

4 Байланыстырғышты ағынды өңдеу үшін жобалау

Байланыстырғыш ағысты жағу кезінде объект ұнтақ өнімдерін желіммен қабаттап желімдеу жолымен құрылады.

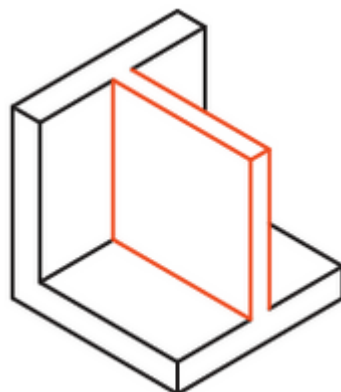
Қайталағыш алдымен ұнтақтың жұқа қабатын қабатқа бөледі, содан кейін ағынды саптамалармен жабдықталған бірнеше баспа бастары (2D-принтерлерде қолданылатын саптамаларға ұқсас), ұнтақ бөлшектерін бірге байланыстырып, қабат түзеді. Толық түсті прототиптер болған жағдайда бояғыш зат осы кезеңде ұнтаққа шашырайды. Содан кейін жинау платформасы бір қабатқа төмен жылжиды және процесс бөлшекті аяқтағанға дейін қайталанады.

Байланыстырғышты ағынды өңдеу үшін пайдаланылатын материалдар қолдану саласына байланысты түрленеді: металдардан (мысалы, тот баспайтын болат және Инконель қорытпалары) гипске (құмтас) немесе құю қалыптары мен өзекшелерге арналған толық түсті прототиптер мен Жоғары температуралы кварц құмына арналған ПММА.

Байланыстырғыш ағысы дизайнның үлкен еркіндігін қамтамасыз етеді, өйткені бөлшектер төмен температураларда басылады. FDM, SLS және DMLS/SLM деформациясы сияқты жылу әсерлеріне байланысты қателер байланыстырғыштың ағынды өңдеу кезіндегі проблема емес. Сонымен қатар, тірек конструкцияларда қажеттілік жоқ, өйткені бөлшектер толығымен инкапсуляцияланған және SLS сияқты қоршаған ұнтақпен қолдау.

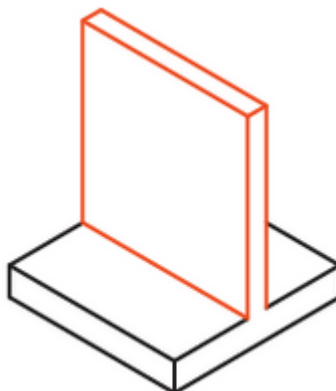
Басып шығарғаннан кейін бөлшектер нәзік жасыл күйде болады және олар пайдалануға дайын болғанға дейін, әдетте, инфильтрация немесе жентектеу сияқты, кейіннен өңдеу сатысы қажет. Бұл жұқа элементтер өңдеу кезінде жасыл күйінде сынуы мүмкін, өйткені байланыстырғыш ағынды басып шығару арқылы басылуы мүмкін дизайнерға шектеулер қосады.

Қабырға қалыңдығы: 2,0 мм байланыстырғыштың ағынды өңдеу көмегімен жасалған бөлшектер үшін ұсынылған ең аз қабырға қалыңдығы 2,0 мм құрайды.



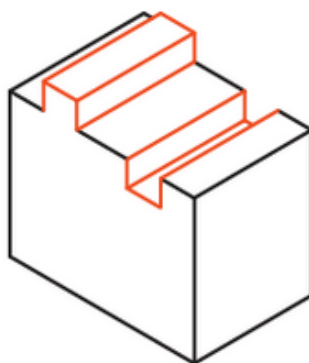
4.1 сурет – Қабырға қалыңдығы

Қолдау көрсетілмейтін қабырғалар: 3,0 мм Қолдау көрсетілмейтін қабырғалар (қабырғаларды немесе қаттылық қабырғаларын қоса алғанда) өңдеу кезінде зақымданудың үлкен қаупіне ұшырайды және 3,0 мм жұқа болмауы тиіс.



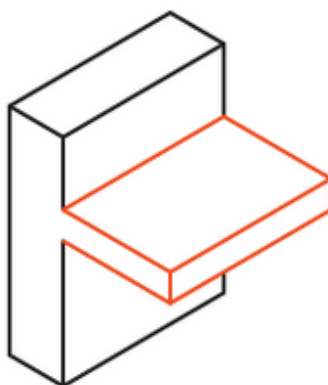
4.2 сурет – Қолдау көрсетілмейтін қабырғалар

Рельефті және оюланған бөлшектер: 0,5 мм бөлшектер көріну үшін рельефті және оюланған бөлшектер кем дегенде 0,5 мм үстіңгі қабаттан төмен немесе жоғары болуы тиіс.



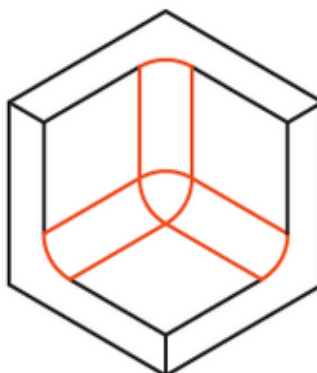
4.3 сурет – Рельефті және оюланған бөлшектер

Қолдау көрсетілмейтін жиектер: 2,0 мм дегенмен, ұнтақ, қоршаған бөлшектер, жинау кезеңінде қолдауды қамтамасыз етеді, қолдау көрсетілмейтін жиектер жасыл күйінде өңдеу кезінде бұзылудың жоғары қаупіне ұшырайды.



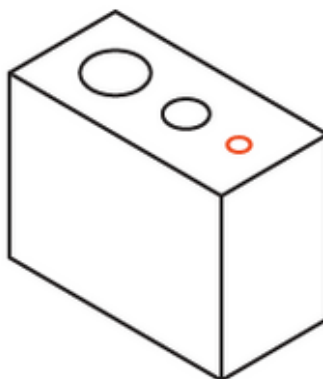
4.4 сурет – Қолдау көрсетілмейтін жиектер

Дөңгелектеу: 1,0 мм барлық дөңгелектеу радиусы кемінде 1,0 мм болуы және мүмкін жерде конструкцияның барлық шеттерінде пайдаланылуы тиіс. Бұл кепілдік, олар зақым келмейді жасыл күйде. Радиус ұнтақты және дәл құрылымды жоюға көмектесу үшін ішкі қуыстар үшін өте маңызды.



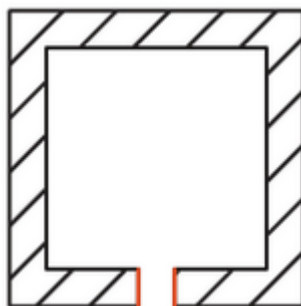
4.5 сурет – Дөңгелектеу

Тесік мөлшері: $\varnothing 1,5$ мм табысты басып шығару үшін тесік ең аз диаметрі кемінде 1,5 мм болуы тиіс.



4.6 сурет – Тесік мөлшері

Шығару тесіктері: 5,0 мм байланыстырғыштың ағынды өңдеуі толық секциялары бар бөлшектерді жасауға мүмкіндік береді. Басып шығарғаннан кейін байланысты емес ұнтақты жою үшін конструкцияға шығару тесіктері енгізілуі тиіс.



4.7 сурет – Шығару тесіктері

Элемент өлшемі: 2,0 мм байланыстырғыштың ағысты өңдеу үшін элементтің ең аз өлшемімен негізгі мәселе-зақымдану мүмкіндігі. Бұл процесс өте ұсақ бөлшектермен бөлшектерді өндіруге қабілетті болса да, мәселе өте нәзік бөлшектерді жасыл күйінде өңдеу болып табылады.



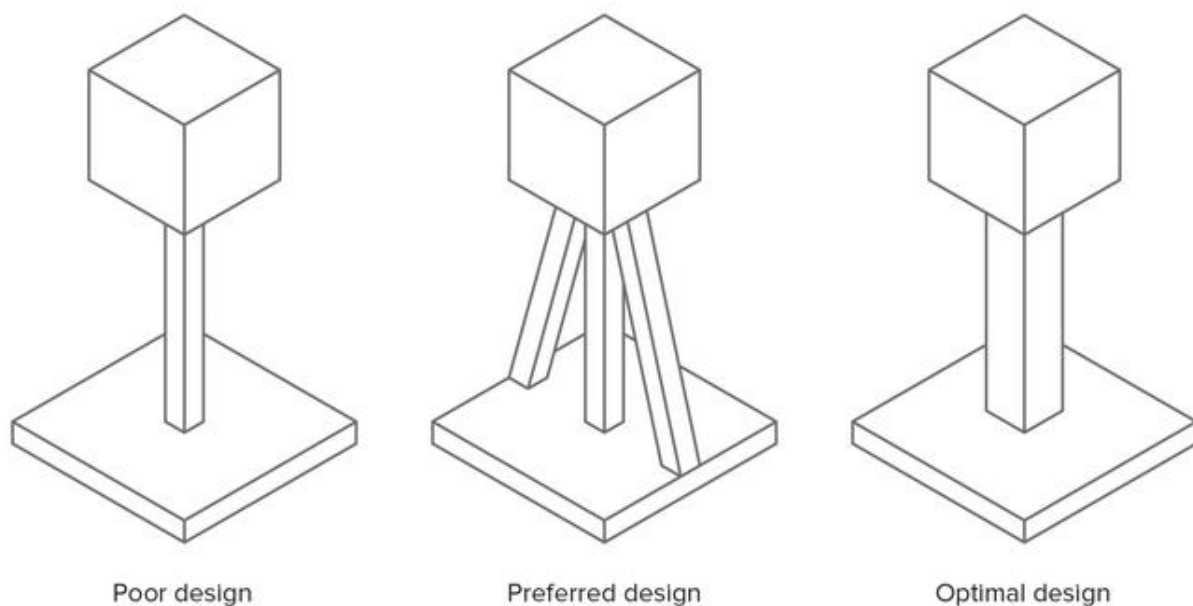
4.8 сурет – Элемент өлшемі

Принтерден шығып, байланыстырғыш ағысты бөлшектер нәзік жасыл күйде болады. Бұл кезеңде бөлшектер өте нәзік, себебі олар құм немесе ұнтақ бөлшектерінен тұрады.

Егер деталь тым нәзік болса, оны жасыл күйінде өңдеуге болады. Кейін өңдеу әдетте бөлшектің бетінен щеткамен және сығылған ауамен байланысты емес ұнтақты алып тастауды, содан кейін инфильтрация немесе жентектеу сатысы арқылы бөлшектерді беріктендіруді қамтиды.

Жобалаушы жоғарыда кестеде ұсынылған ұсынымдарды ұстауы маңызды, бұл бөлшектер өңдеу кезінде өңдеуге төтеп беру үшін жеткілікті берік.

Элемент немесе бөлшек тым нәзік болса, шешімдердің бірі оның қаттылығын жақсарту және қолдау қамтамасыз ету үшін конструкцияға қосымша бекіту конструкциясын қосу болып табылады. Бұл бекітуші элементтер одан кейін инфильтрациядан немесе пісіруден кейін жойылуы мүмкін (бөлшек неғұрлым берік болған кезде), Бірақ бұл қосымша қадам қажет, өйткені құны мен уақытын арттырады. Әрине, оңтайлы шешім жоғарыда келтірілген кестенің ұсынымдарына сәйкес осы нысандардың өлшемін арттыру болып табылады.



4.9 сурет – Бекіту конструкциясын қосу

Байланыстырғыштың ағынды жағылуы инфильтрация немесе жентектеу сияқты қайталама процестердің көмегімен функционалдық металл бөлшектерді алу үшін пайдаланылады. Құмнан жасалған толық түсті бөлшектердің механикалық қасиеттері, сондай-ақ, әдетте цианоакрилатты желім (супер желім) немесе олардың қасиеттерін өзгерте алатын басқа да қоспалар арқылы инфильтрация арқылы басып шығарғаннан кейін жақсарыады. Бөлімнің қалған

бөлігі инфильтрацияға және металл бөлшектерді жентектеуге арналған, өйткені олар үлкен практикалық қызығушылық тудырады.

Инфильтрация: басып шығарғаннан кейін бөлшекті пешке орналастырады, онда байланыстырушы қуыс қалдырады. Қазіргі уақытта бұл бөлік шамамен 60% кеуекті. Содан кейін қола капиллярлы әсердің көмегімен қуысты инфильтрлеу үшін пайдаланылады, нәтижесінде төмен кеуектілігі (шамамен 10%) және жақсы беріктігі бар бөлшектер алынады.



4.10 сурет – Инфильтрация алдын құммен жабылуы

Жентектеу: баспаны аяқтағаннан кейін бөлшектерді Жоғары температуралы пешке (жиі микротолқынды пештің көмегімен) орналастырады, онда байланыстырушы жанып кетеді және қалған металл бөлшектер бірге пісіріледі (желімделеді), соның нәтижесінде өте төмен кеуектілігі бар бөлшектер алынады (3% - дан кем).

Инфильтрация және жентектеу және металл байланыстырушы тасқынды бөлшектерді байланысты үлкен дәрежеде шөгуінің және мөлшерін азайту. Әсер пісіру кезінде байқалады, себебі бөлшектерге ешқандай жаңа материал қосылмайды.

Шөгу геометриялық бөлшектерге байланысты. Әдетте, ұзындығы 25-75 мм-ге дейінгі бөлшектерде 0,8% - дан 2% - ға дейінгі шөгінділер болады, ал үлкен бөлшектерде 3% есептік орташа шөгінділер болады. Біркелкі емес шөгу проблема болуы мүмкін және байланыстырушыға арналған ағынды машинаның операторымен бірге жобалау кезеңінде ескерілуі тиіс.

Байланыстырғыштардың ағысты өңдеуге ұшырайтын металл бөлшектерінің, әдетте, тіпті инфильтрациядан (әдетте 90% тығыздығымен) немесе жентектеуден (әдетте 97% тығыздығымен) кейін де кейбір ішкі кеуектілігі бар

екенін есте ұстаңыз. Бұл дегеніміз, олардың механикалық қасиеттері dmls/SLM сияқты 3D басып шығарудың басқа процесін пайдалана отырып жасалған көлемді материалға немесе бөлшектерге жол береді. Толық ақпаратты мына жерден табуға болады. Алайда, металл байланыстырғыштардың ағынды өңдеу процестері тез дамып келеді, ал 2018 жылы кеңейтілген мүмкіндіктерді ұсынатын жаңа жүйелерді шығару жоспарлануда.

Инфильтрация процесінің бірегей аспектілерінің бірі-кола Бөлшекке еніп кетуі үшін ходулях қажеттілігі. Жиі оператор қададарда қандай орынды конструкцияларға орналастыру жақсы екенін шешетін болады. Орнату үшін ходулей талап етіледі тегіс беті ең төменгі бетінің алаңы 1,5 x 1 мм. Маңызды жобалаушы түсіну орналасқан, ходули, өйткені олар жойылуы тиіс кейін инфильтрация, және бұл болуы мүмкін кері әсері жер бетіне отырып, ходули байланыстық.

Байланыстырғыштың ағынды жағылуы сия мен байланыстырғыш затты гипске (құмтас) немесе ПММА ұнтағына бір мезгілде жағу арқылы толық түсті іздер жасайды.



4.11 сурет – 3D толық түсті топографиялық картасы

Баспадан кейін бөлшектер бөлшектердің беріктігін арттыру және түстердің жарықтығын арттыру үшін цианоакрилаттан (супер-желім) жасалған инфильтратпен жабылады. Содан кейін екінші эпоксидті қабатты одан әрі беріктігін және түс көрінісін жақсарту үшін қосуға болады. Тіпті осы қосымша қадамдармен толық түсті байланыстырушы ағыс бөлшектері өте нәзік және функционалдық бөлшектер үшін ұсынылмайды.

Түсі 2 әдістің көмегімен CAD үлгілеріне қолданылады: әр қырға жақындағанда немесе текстуралық карта түрінде.

Әрбір бет негізінде модельге түсті қолдану тез және оңай жүзеге асырылады, бірақ егжей-тегжейлі азайтуға әкеледі. SQL-дің ең үлкен бағдарламалық пакеттері дизайнның әр қырының түсін тағайындауға мүмкіндік береді, содан кейін файл VRML түрінде экспортталуы мүмкін (виртуалды шындықты модельдеу тілі).

Түсті қолдану үшін текстуралық картаны пайдалану әлдеқайда қиын, және оған әрбір бағдарламалық қамтамасыз ету үшін жеке келу қажет. Текстуралық файлдар әдетте JPEG немесе PNG пішіміне ие. Барлық текстураларды тағайындағаннан кейін модель әдетте VRML немесе X3D файл түрінде экспортталады.

ҚОРЫТЫНДЫ

«Бұйым жасау кезінде Digital Metal аддитивті технологиясын қолдануды зерттеу» дипломдық жобасын орындау барысында 3D принтерлар туралы көптеген мәліметтер қарастырылды. Digital Metal конструкциясы, жұмыс істеу принциптері, жетектері және де түрлері талқыланды. Олардың негізгі бөлшектері, көмекші құрылғылары, шығын материалдары қарастырылды.

Жұмыстың мақсаты Digital Metal аддитивті технологиясын қолдануды зерттеу болып табылады. Осы мақсатты орындау үшін көптеген мемлекеттік стандарттар іздестірілді, осы тақырып бойынша көптеген теориялық мәліметтер жиналды. Материалдар кедергісі, машиналар бөлшегі, теориялық механика, конструкторлау негіздері осы мәліметтерді жинап жобалау параметрлерін анықтап, жобалық есептер жүргізілді, соңында САД жүйелі бағдарлама арқылы 3D сызбасын сыздым.

Қазіргі заманда 3D принтер технологиясы жоғарғы қарқында дамып келе жатыр, 3D принтерлерге деген талаптары өзгеріп жатыр, осы жобадағы 3D принтер конструкциясы оңай, бағасы арзан және қолдануы оңай мақсатында жобаланды. Жалпы 3D принтер жобалау есебі сәтті аяқталғанын оқу курстары барысында алынған білімдермен растаймын.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Зленко, М.А. Аддитивные технологии в машиностроении [Текст] : пособие для инженеров / М.А. Зленко, М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш. – М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с.
- 2 Wohlers Report 2018. 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry. Annual Worldwide Progress Report [Text] / compiled by I. Campbell, O. Diegel, J. Kowen and T. Wohlers. – Fort Collins: Wohlers Associates, Inc, 2017. – 344 p.
- 3 Attaran, M. The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing [Text] / M. Attaran // Business Horizons. – 2017. – Vol. 60. – Iss. 5. – P. 677-688.
- 4 Additive Manufacturing [Text] / compiled by A. Bandyopadhyay, S. Bose. – N.Y.: CRC Press, 2015. – 389 p.
- 5 Василюк, В.П. Использование аддитивных технологий при восстановлении дефектов лицевого скелета [Текст] / В.П. Василюк, Г.И. Штраубе, В.А. Четвертных / Пермский медицинский журнал. – 2013. – Т. 30. – № 3. – С. 60-65.
- 6 Чемодуров, А.Н. Применение аддитивных технологий в производстве изделий машиностроения [Текст] / А.Н. Чемодуров // Известия ТугГУ. Технические науки. – 2016. – № 8. – С. 210-217.
- 7 Кузнецов, П.А. Аддитивные технологии на базе металлических порошковых материалов для российской промышленности [Текст] / П.А. Кузнецов, О.В. Васильева и др. // Новости материаловедения. Наука и техника. – 2015. – № 2 (14). – С. 4-10.
- 8 Литунов, С.Н. Обзор и анализ аддитивных технологий. Часть 1 [Текст] / С.Н. Литунов, В.С. Слободенюк, Д.В. Мельников // Омский научный вестник. – 2016. – № 1 (145). – С. 12-17.
- 9 Чумаков, Д.М. Перспективы использования аддитивных технологий при создании авиационной и ракетно-космической техники [Электронный 88 ресурс] / Д.М. Чумаков, – Электрон. дан. – Электронный журнал «Труды МАИ». – 2014. – № 78. Режим доступа:
- 10 Noorani, R. 3D Printing: Technology, Applications, and Selection [Text] / R. Noorani. – N.Y.: CRC Press, 2017. – 271 p.