

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

Өнеркәсіптік инженерия кафедрасы

Керім Ернар Ерболұлы

«Өнімді дайындау кезінде Laser Metal Deposition аддитивті
технологиясын қолдануды зерттеу»

Дипломдық жобаға

ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА

5B071200 – Машина жасау

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

Өнеркәсіптік инженерия кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі

PhD д-ф, қауым. профессор

_____ Арымбеков Б.С.

« ____ » _____ 2020 ж.

Дипломдық жобаға

ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА

Тақырыбы: «Өнімді дайындау кезінде Laser Metal Deposition аддитивті технологиясын қолдануды зерттеу»

5B071200 – Машина жасау

Орындаған

Керім Ернар Ерболұлы

Ғылыми жетекші,

PhD д-ф, қауым. профессор

_____ 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 автоматтандыру және цифрлау институты

Өнеркәсіптік инженерия кафедрасы

5B071200 – Машина жасау

БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі

PhD д-ф, қауым. профессор

_____ Арымбеков Б.С.

« ____ » _____ 2020 ж.

**Дипломдық жоба орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы Керім Ернар Ерболұлы

Тақырыбы «Өнімді дайындау кезінде Laser Metal Deposition аддитивті технологиясын қолдануды зерттеу»

Университет ректорының «__» _____ 20__ ж. № _____ бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «__» _____ 20__ ж.

Дипломдық жобаның бастапқы берістері бұйым жасау кезінде Laser Metal Deposition технологиясын қолдануды зерттеу

Дипломдық жобада қарастырылатын мәселелер тізімі

а) Laser Metal Deposition технологиясы зерттеу

б) Параметрлік зерттеу және баспадан кейінгі өңдеу

в) Жалғыз жолдар үшін параметрлік зерттеу

Ұсынылған негізгі әдебиет: 8 атау

Дипломдық жобаны дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәліметтер тізімі	Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
Кіріспе. Laser Metal Deposition технологиясы зерттеу		
3D басып шығару, Параметрлік зерттеу		
Бірнеше қабат: аддитивті өндіріс		
Бүйір жабынын талдау		

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 _____ Керім Е. Е.

Күні «__» _____ 2020 ж.

АҢДАТПА

Берілген дипломдық жобада аддитивті технологиялардың ішіндегі Laser Metal Deposition процесінің жұмыс жасауын толық зерттелді қарастырылды. H11 сым негізіндегі лазерлік металды тұндыру үшін параметрлік зерттеу жасалды және орындалды. Көрсетілгендей, параметрлердің бір ғана жиынтығы жоқ, бірақ тұрақты тұндыруға мүмкіндік беретін лазерлік қуаттың шектеулі диапазондарын анықтадық. Тексерілген шарттар үшін өңдеу параметрлерінің өзгеруі бір жолды шөгінділердің қаттылығына айтарлықтай әсер етпеді. Алайда, көп қабатты құрылымның бірнеше жылу циклдері қаттылықтың төмендеуіне әкелді.

Laser Metal Deposition технологиясы толық зеттедік, және параметрді, бір қабатты, бір жақты, жалғыз моншақтарды тоық анықтадық.

Зерттеу сонымен қатар бүйірлік және тік қабаттасу жылдамдығы LMD-W бөлігін құрудың негізгі факторлары болып табылатындығы атап өтілді. Өте жоғары / төмен бүйірлік қабаттасу жылдамдығы қосымша өндіріс процесінің көп қабатты құрылымын бұзды. Тік қабаттасу әр қабаттың биіктігінің біртектілігіне, қабат-қабат техниканың сәттілігінің шешуші факторына байланысты болды. Соған қарамастан, бүйірлік және тік қабаттасу кезінде пайда болатын өңдеу ақауларының болуы, біртектілікке қол жеткізу үшін бос орындар мен тесіктердің болмауынсыз дыбыс бөлігін алуға мүмкіндік беретін қабаттасу жылдамдығын бақылау қажет екенін көрсетті.

АННОТАЦИЯ

В данном дипломном проекте были рассмотрены вопросы работы процесса Laser Metal Deposition среди аддитивных технологий. Выполнены и выполнены параметрические исследования для осаждения лазерного металла на основе проволоки H11. Как показано, мы определили ограниченные диапазоны лазерной мощности, которые не имеют только одного набора параметров, но позволяют устойчивому осаждению. Изменение параметров обработки для проверенных условий не оказало существенного влияния на твердость однопутных отложений. Однако несколько тепловых циклов многослойной структуры привели к снижению твердости.

Технология Laser Metal Deposition полностью детализирована, и точнее определяли параметры, однослойные, односторонние, одиночные бани.

Исследование также было отмечено, что скорость бокового и вертикального слоев является основными факторами создания части LMD-W. Очень высокая / низкая скорость бокового слоя нарушила многослойную структуру дополнительного процесса производства. Вертикальное сглаживание было связано с однородностью высоты каждого этажа, решающим фактором успеха пластовой техники. Тем не менее, наличие дефектов обработки, возникающих при боковом и вертикальном слоях, показал, что для достижения однородности необходимо контролировать скорость пластирования, позволяющую получать звуковую часть без наличия свободных мест и отверстий. Также мы изучали программное оборудование. Проанализирована статическая прочность рабочего колеса изделия методом конечных элементов. Проведены аналитические расчеты на прочность рабочего колеса, а также испытания на растяжение печатных материалов 3D. По технологии Fused Deposition Modeling выявлен эффект шероховатости отпечатанных изделий.

ANNOTATION

In this diploma project, the issues of the Laser Metal Deposition process among additive technologies were considered. Parametric studies for the deposition of laser metal based on H11 wire have been performed. As shown, we have defined limited ranges of laser power that do not have only one set of parameters, but allow stable deposition. Changing the processing parameters for the tested conditions did not significantly affect the hardness of single-track deposits. However, several heat cycles of the multilayer structure resulted in a decrease in hardness.

Laser Metal Deposition technology is fully detailed, and more precisely defined parameters, single-layer, one-sided, single baths.

The study also noted that the speed of the side and vertical layers are the main factors in creating the LMD-W part. The very high / low speed of the side layer disrupted the multi-layer structure of the additional production process. Vertical smoothing was associated with the uniformity of the height of each floor, a crucial factor in the success of reservoir engineering. However, the presence of processing defects that occur in the side and vertical layers, showed that to achieve uniformity, it is necessary to control the speed of plastering, which allows you to get the sound part without the presence of free places and holes.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	9
1 Laser Metal Deposition технологиясы	11
2 Материалдар мен әдістер	12
2.1. Жабдықтың сипаттамасы	12
2.2. Субстрат және шикізат материалдары	12
3 Сымды негізделген LMD параметрлері	14
3.1. Параметрлік зерттеу	15
3.2. Жалғыз моншақтар	15
3.3 Бір қабатты, бір жақты	16
3.4. Бірнеше қабат: аддитивті өндіріс	16
3.5. Нәтижелер және талқылау	17
3.5.1. Жалғыз жолдар үшін параметрлік зерттеу	17
3.5.2. Бүйір жабынын талдау	21
3.5.3. Тік қабаттасуды талдау	24
Қорытынды	29
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	30

КІРІСПЕ

Аддитивті өндіріс (АМ) - бұл күрделі бөліктерді шығару үшін материалды қабат-қабат техникамен біріктіруді қамтитын таза нысандағы өндіріс процесі [1]. 3D Printing деген атпен танымал АМ қазіргі уақытта полимерлерден/пластмассадан жасалған бөлшектерді шығаруда үлкен жетістіктерге жетуде. Көрнекі құралдарды, презентациялық үлгілерді, жабдықтарды прототиптеуге арналған үлгілерді және металдарды құюға арналған үлгілерді жасау үшін көптеген АМ технологиялары қолданылады. Бұл процестерде қолданылатын металл емес материалдар - бұл эпоксидті шайыр, акрилат (полиэт), қағаз, резеңке және полиэфир [2]. Полимерлерді қолдану олардың төмен балқу температурасымен және жоғары тұтқырлықпен байланысты, олар бөлшектерді шығару үшін күрделі жылу енгізу механизмдері мен саптамалардың конструкциясын қажет етпейді [3].

Металл қорытпаларын қолдана отырып, прототиптеу үшін АМ қабылдауды бірнеше өнеркәсіп бастады, өйткені ол өнеркәсіптік өндіріске дейін нақты көлемдегі бөліктің жағдайын тексеру үшін жылдам және экономикалық бағыт болып табылады. Механикалық өңдеу сияқты дәстүрлі өндірістік процестерге балама ретінде материал блоктан алынып тасталынады, АМ материалды тиімді пайдалануды ұсына отырып, сынықтың аз мөлшері бар өндірісті ұсынады [4]. Құю сияқты процестердің тағы бір артықшылығы - қалыптың қажеті жоқ. Сонымен қатар, бұл өндірістік процесс үш өлшемді модельдерді қолдана отырып, компьютермен басқаруға мүмкіндік береді. Бұл өндірістегі шығындар мен уақытты төмендетуге мүмкіндік беретін технология. АМ аэроғарыштық бастап және штамптар мен пресс-формаларды өндіруге дейін әртүрлі салаларда танымал болады. Бұл негізінен үрдісте ұсынылған артықшылықтарға байланысты болады: 3D-модельдеу, микроқұрылымның икемді архитектурасы, геометрия және температураны бақылау [5].

Қоспалы өндіріс компоненттерін жасау үшін көптеген металдар мен металдар қорытпалары, мысалы, Спутник, Инкронды қорытпалар, H13 және WC-Co зерттелді [1]. Аддитивті өндірістің мақсаты дайын өнімнің сапасын сақтай отырып, материалдық шығынды, өндіріс уақытын және өндіріс құнын азайту болып табылады [3]. Осыған байланысты металл материалдарға арналған АМ қымбат тұратын және қиын өңделетін материалдармен жұмыс істеу кезінде үлкен әлеуетке ие. Мысалы, титан қорытпалары аэрокосмостық индустрияның көптеген компоненттеріне және жақында, протездер мен имплантаттар сияқты биомедициналық қосымшаларға тартымды материалдар болып табылады [6].

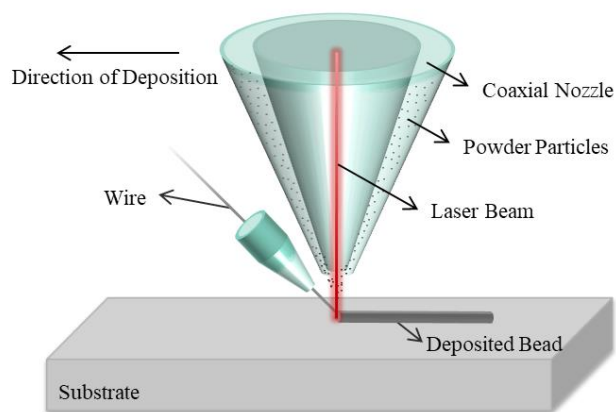
Металл компоненттерін қоспа жасау үшін кейбір процедуралар әзірленді, атап айтқанда тікелей металды тұндыру (DMD), лазермен басқарылатын торды қалыптастыру (LENS), селективті лазерлік балқыту (SLM), лазерлік металды тұндыру (LMD), жарықтың тікелей өндірісі (DLF), электрондық сәуленің балқыуы (EBM), басқалары сияқты [2]. Лазерлік сәуле әсіресе жылу берудің басқарылатын механизмдерінің есебінен металдар үшін АМ процесінде энергия көзі ретінде кеңінен қолданылады. Әлеуетті артықшылықтарға және әзірленген технологияларға қарамастан, процестер мен білім сипаттамаларының болмауынан металл бөлшектерінің аддитивті жасауымен байланысты елеулі проблемалар бар. АМ термиялық бүрку және селективті лазерлік жентектеу сияқты ұнтақ бүрку немесе жентектеу арқылы орындалуы мүмкін. Сонымен қатар, металл сым және/немесе ұнтақ лазерлік сәуле, электрондық сәуле, плазма және электр доғасын энергия көзі ретінде пайдалана алатын синтез негізіндегі процестер үшін бастапқы материал ретінде таңдалуы мүмкін [3].

Бұл зерттеу, әсіресе автомобиль өнеркәсібі үшін функционалды компоненттерді өндірудің орындылығын бағалау үшін параметрлік зерттеу болып табылады. Таңдалған АМ процесі сым негізіндегі лазерлік металды тұндыру (LMD-W), онда лазер сәулесі энергия көзі және шикізат материалы сым түрінде болады. Автомобиль өнеркәсібіндегі АМ процестері көптеген бөлшектерді, мысалы, жарақтар мен бөлшектерді жөндеу кезінде өндіріске енгізілген [7]. Дегенмен, функционалды бөлшектерді, мысалы, электр қозғалтқышының бөлшектерін жасау үшін одан әрі дамыту қажет. Сондықтан, H11 ыстық аспапты Болаттың 42CrMo4 қоспаланған болатында лазерлік аддитивті өндірісін бағалау бойынша төсеніш материалы ретінде зерттеу жүргізілді. Төсем материалы таңдалған, өйткені ол әдетте валдар мен тістегершіктер сияқты функционалды автомобиль компоненттерінде қолданылады. Сонымен қатар, H11 сым формасы жақсы дәнекерленуіне, жоғары ыстық беріктігі мен температураға төзімділігіне байланысты қолданылды.

1 Laser Metal Deposition технологиясы

Металлдарды лазерлік тұндыру (LMD) - бұл лазермен қаптау технологиясына негізделген синтезге негізделген процесс. Бұл процесте бөлшектер сымдарды немесе ұнтақты материалды еріту жолымен жасалады, ол кейіннен лазерлік сәуленің алдын ала берілген траектория бойынша қозғалуына қарай қатырады [8]. Бұл процесстің құрылу принципі шикізат материалдарының басу іздерін қатар-қатар және қабат-қабат етіп орналастыру болып табылады [9]. LDM сым процесінде бүйірлік сопло арқылы балқу бастиегіне беріледі, ал бүйірлік немесе коаксиалды ұнтақ сопло ұнтақ шөгінділерінде қолданылуы мүмкін [10]. LMD жұмыс істеу принципі « суретте көрсетілген.

Ұнтақты LDM процесі күрделі геометриялары бар функционалды-тегістелген материалдарды жасауға ыңғайлы; дегенмен, денсаулыққа зиян келтіретін және материалдың қымбаттығына әкелетін ұнтақтың уыттылығы процестің кейбір кемшіліктері болып табылады [11]. Екінші жағынан, шикізат материалын сым түрінде беретін жүйе жоғары тиімділікті, арзан шикізат материалын және ұнтақпен салыстырған кезде материалдың аз шығынын ұсынады. Соған қарамастан, материалдың берілу жылдамдығын тұрақсыздығы, әр түрлі материалдардың азаюы, сымның беткі қабатына радиацияның сіңуіне тәуелділігі және сақталған материалдың субстратпен жоғары сұйылтылуы сымға негізделген процестердің кейбір кемшіліктері болып табылады [12].



1-сурет Металлдарды лазерлік тұндырудың (LMD) схемалық көрінісі

Металл бөлшектердің беттік тұтастығын жақсарту үшін лазерлік легирлеу, лазерлі қаптау және лазерлік қаптау сияқты лазерлік процестер қолданылып келді. Бұл процестер тозуға, коррозияға және тотығуға төзімділікті және белгілі бір дәрежеде шаршауға төзімділікті жоғарылатуға қабілетті [13]. Толық

бөлшекті жасайтын қолдану үшін төсеніш-бірінші жағылған қабатты қолдайтын пластина. Ресурстық-энергетикалық пайымдаулар өнеркәсіптің қажеттіліктерімен қатар лазерлік аддитивті өндірістің (лам) дамуын ынталандырады. Өндірістің негізгі компоненттері, атап айтқанда ұста-пресс жабдығы, штамптар мен пресс-формалар, сондай-ақ экструзиялық құралдар, қажетті қасиеттерге жету үшін қазіргі заманғы материалдарды пайдаланудан пайда болды [10].

Металдардың сәтті лазерлік шөгуіне аса маңызды талаптар шөгетін материал мен төсеніш арасындағы немесе қабаттар арасындағы берік байланыс, кеуектіліктің төмендігі және сызаттардың болмауы болып табылады. Төсеніштің жұқа қабаты металлургия байланысын алу үшін бір мезгілде балқытылады. Алайда, көп жағдайларда шамадан тыс сұйылту қажет емес. Жылу және Дәнекерлеумен салыстырғанда лазерлік балқыту технологиясы энергия мен материалды беруді дәл бақылауға қатысты артықшылығы бар[14].

2. Материалдар мен әдістер

2.1. Жабдықтың сипаттамасы

LDM тәжірибесі 5 осьтік CNC машинасында (Alzmetall GX1000 / 5-T-LOB) жүргізілді. Бұл машина Лазерлік процестерді жүргізу үшін Fraunhofer IPT компаниясының бастапқы фрезерлеу функциясынан толығымен бейімделген. Шикізат қоректендіру жүйелерін, газбен жабдықтау жүйелерін және лазерлік оптика біріктіретін және фрезерлік шпиндельді алып тастағаннан кейін Alzmetall-LOB LAM процестерін орындауға дайын болды.

Laserline LDF 4500-30 VGP диодты лазерлі жүйесі лазердің көзін қамтамасыз ету үшін Alzmetall-LOB-мен біріктірілген. Лазер сәулесі әйнек талшығы арқылы басқарылады және машинаның ішіндегі лазер оптикасы фокустың өзгеруіне мүмкіндік береді. Лазерлік шүмектің төменгі бөлігінен дайындамадағы нөлдік жағдайға дейін 21 мм қашықтықта фокустау диаметрі шамамен 1,1 мм тең болды. Сым беру құрылғысы Fraunhofer IPT сым түзеткішімен бейімделген. Сым түрінде шикізат материалы кейіннен лазер сәулесіне қатысты сыммен қоректендіріледі.

2.2. Субстрат және шикізат материалдары

42CrMo4 легирленген болаты субстрат материалы ретінде таңдалды, өйткені ол көбінесе біліктер, беріліс, байланыстырушы өзек және қозғалтқыш цилиндрі сияқты автомобиль компоненттерінде қолданылады. Өйткені

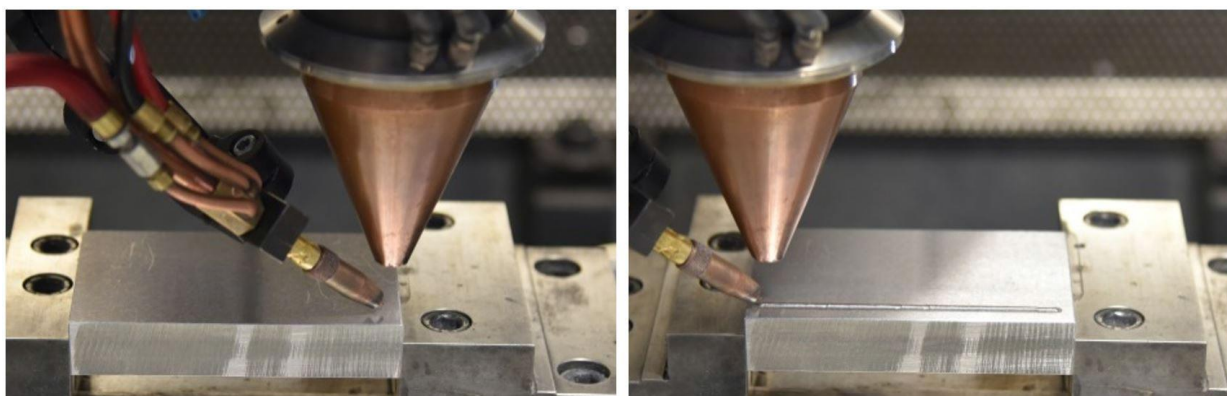
42CrMo4 Болат шектеулі дәнекерлеуге ие, дәнекерлеу материалы ретінде Н11 аспапты Болат таңдалды. Ол ыстық жұмыс кезінде дәнекерленгеннен кейін жақсы қаттылық пен сәйкес қаттылықты көрсетеді. Н11 сым тот басуды азайтатын, жақсы электр өткізгіштікті қамтамасыз ететін және дәнекерлеу кезінде үйкелуді төмендететін өте жұқа мыс жабыны бар диаметрі 1,2 мм тұтас сым болып табылады. Екі қабаттың да, дәнекерлеудің де химиялық құрамы 1-кестеде көрсетілген.

Кесте 1. Субстраттың (42CrMo4) және сымның (Н11) химиялық құрамы.

Grade	C%	Si%	Mn%	Cr%	Mo%	V%	P%	S%
Н11	0.33- 0.41	0.80- 1.20	0.25- 0.50	4.80- 5.50	1.10- 1.50	0.30- 0.50	max 0.03	max 0.03
42CrMo4	0.38- 0.45	max 0.40	0.60- 0.90	0.90- 1.20	0.15- 0.30			

3 Сымды негізделген LMD параметрлері

Сымның тұндыру процестері бұл технологиялық параметрлерге ерекше сезімталдық көрсетті: лазерлік қуат, лазерді сканерлеу жылдамдығы, сымның берілу жылдамдығы, сымның түсу бағыты, сымның түсу бұрышы, сымның орналасуы және инертті газ шығыны [15]. Лазерлік қуат, лазерді сканерлеу жылдамдығы және сым беру жылдамдығы осы зерттеудің негізгі бағыты болып табылады, қалған барлық параметрлер тұрақты болып қалады. Сымды тұндыру бағыты x-бағытына қарай таңдалды және бүкіл зерттеу барысында өзгеріссіз қалды. 2-суретте процесс кезінде суреттер x осіне қарай бағытты көрсетеді.



2-сурет - Процестің басталу және аяқталу кезіндегі суреттері, тұндыру бағытын көрсетеді

Сымның бұрылу бұрышы кез-келген эксперимент алдында өлшенген, бұл оның алдыңғы зерттеулер шегінде болғанын растайды ($46,5^\circ$) [16]. Сондай-ақ, бүкіл процесте балқытылған материалдарды қорғау үшін аргон газы қолданылды. Әрбір тұндырудың алдында субстрат негіз материалының бетінде ешқандай оксид қабаты мен ластанудың алдын алу үшін ацетонмен тазартылды.

Жоғарыда айтылғандай, сым негізіндегі LMD тұрақтылығына үлкен әсер етуі мүмкін мәселе - балқытылған бассейнге сәйкес сымның орналасуы. Бұл қондырғы сымның немесе субстраттың химиялық құрамына байланысты өзгеруі мүмкін. Осылайша, сымның позициясы алдыңғы тергеу үшін параметрлік зерттеуге дейін орнатылды және ол мезгіл-мезгіл Alzmetall-LOB машинасының ішіне орнатылған камерамен және нақты сымның алдыңғы жағдайымен салыстыру үшін жасалған бағдарламамен тексерілді.

3.1. Параметрлік зерттеу

Зерттеу, бір қабатты және бірнеше қабаттар үшін параметрлерді оңтайландыруды алу үшін үш дәйекті кезеңде жүргізілді. Бірінші кезеңде лазерлік қуат, қозғалыс жылдамдығы және сымдарды беру жылдамдығы талданды. Бір және көп қабатты кезеңдер сәйкесінше жанама және тік қабаттасу жылдамдығын оңтайландыруға бағытталған.

3.2. Жалғыз моншақтар

Үш айнымалы зерттелді: лазерлік қуат, лазерді сканерлеу жылдамдығы және сым беру жылдамдығы. Барлық осы параметрлер тұндырудың сапасына және бисердің геометриялық сипаттамаларына әсер етеді [17].

Желінің массасы сым беру жылдамдығы мен жүру жылдамдығының арақатынасы арқылы анықталады. Ол әр моншаққа салынған сымның мөлшерін береді [19] және екі параметрдің орнына айнымалы болып таңдалды. Таңдалған DOE 2 кестеде көрсетілгендей, 3 параметрмен, жиынтықта 27 параметр жиынтығымен 3 фактордан тұрады.

Әр параметрдің жиынтығы оның қайта шығарылуын қамтамасыз ету үшін үш рет қайталанғандықтан, барлығы 81 тәжірибе жүргізілді. Параметрлердің әрбір жиынтығы үшін ұзындығы 45 мм моншақ салынды.

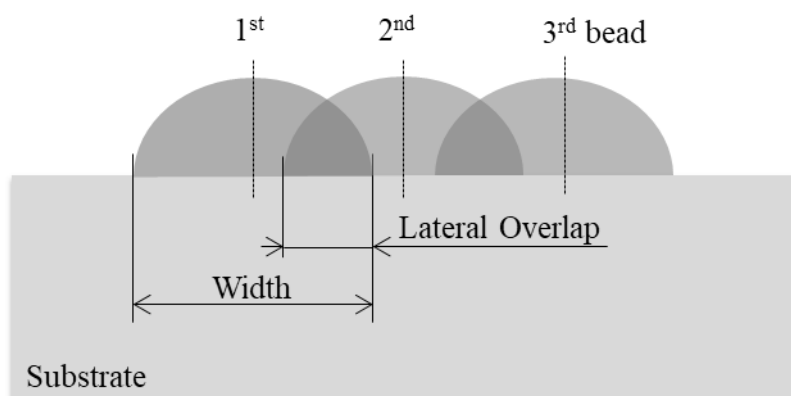
Әрбір шаршының сипаттамасы беттің сапасын, шарик пен төсеніш арасындағы байланысты және шариктердің геометриялық қимасын қамтыды. Бисердің оқшауланған көлденең қимасын талдау поралардың, жарықтардың немесе тіліктердің болуына, сондай-ақ әрбір бисердің ені мен биіктігін өлшеу үшін, сондай-ақ дәл сол параметрлер жиынтығымен бисердің көбейтілуін тексеру үшін оптикалық микроскопқа жүргізілді.

2-кесте. Процестің параметрлері мен мәні зерттеуде қарастырылған.

Лазер қуаты [W]	Қозғалыс жылдамдығы [mm/min]	Желінің салмағы
945	600	1
900	500	1.1
845	400	1.2

3.3 Бір қабатты, бір жақты

Бір қабатты моншақтарды жанама түрде орналастыру және 3-суретте схемалық түрде көрсетілген бүйір қабаттасу мөлшері зерттелді. Аддитивті өндіріс кезінде бірінші қабаттың топографиясы кейінгі қабаттар сапасында шешуші рөлге ие. Мақсаты - көп қабатты өңдеу кезінде олқылықтардың пайда болуын болдырмау үшін материалды пайдалану тиімділігін сақтай отырып, беткейдің қаттылығын азайту.



3-сурет- Үш жолы бар қабаттың схемалық суреті.

Бүйір қабаттасу пайызы келесі моншақты тұндыру кезінде қабаттасқан бір моншақтың енін білдіреді. Бүйір қабаттасу пайызы кейінгі моншақты тұндыру үшін фокусты бүйірінен жылжыту арқылы өзгереді. Әрқайсысы 36,1% -дан 5,6% -ға дейін жанама қабаттасқан ағаш жолдары бар он екі қабат шығарылды және сипатталды.

3.4. Бірнеше қабат: аддитивті өндіріс

Тік жабу (әрбір қабат арасындағы Z-бағыттағы қашықтық) аддитивті өндірісті өңдеу кезіндегі сыни параметр болып табылады және осы зерттеудің соңғы кезеңінде бағаланды. Әрбір қабаттың беткі топографиясы - бұл алдыңғы қабатқа құйылған әр моншақтың биіктігінің өзгеруінен туындаған кедір-бұдыр. Тік қабаттасу алдыңғы қабаттың үстіне бір қабат қосу үшін Z-бағытта қандай қашықтық болатынын анықтау үшін лазердің жылжу сенсорымен өлшенді. Әрбір қабат үшін фокустық нүкте болғандықтан, бетінің топографиясы тұндыру реттілігіне әсер етіп, процесті бұзуы мүмкін.

Үш тік жабынды сыналды: 0% тік жабынды, лазерлік фокус алдыңғы қабаттың орташа биіктігін ескере отырып орнатылған, 10% орташа биіктіктен жоғары және 10% орташа биіктіктен төмен. Блоктар салынып, сәтті сақталған

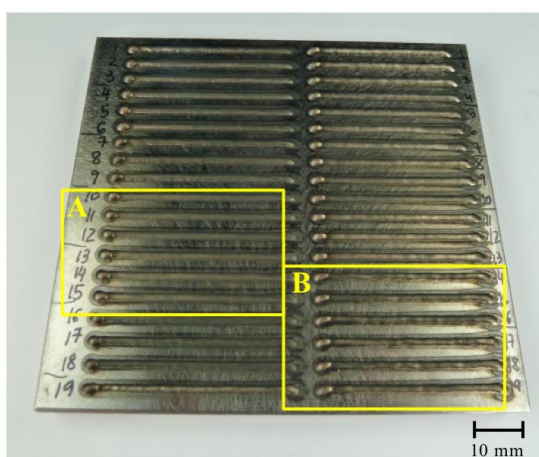
қабаттардың көпшілігімен идеалды қашықтық анықталды. Әр қабаттың арасында зерттеу температурасына әсер етпейтіндігіне кепілдік беру үшін 5-тен 10 минутқа дейін күту уақыты қабылданды. Үлгілердің көлденең қималары үлгілерді дайындау және өңдеу үшін стандартты металлографиялық әдістемелер бойынша дайындалды. Көлденең қимадағы талдау тесіктердің, сызаттардың болуына және кескінді визуализациялау үшін сканерлейтін электрондық микроскопта (Сэм) жүргізілді. Қысқа қаттылықты Виккерс тестінің көмегімен 0,2 килопоунд жүктемесімен өлшеді.

3.5. Нәтижелер және талқылау

Аддитивті жасау үшін қажетті ақпаратты алу үшін эксперимент дәйекті кезеңдерге бөлінді. Бір қабатты және көп қабатты материалды параметрлік зерттеу нәтижелері зерттеудің алдыңғы кезеңдеріне байланысты. Сондықтан талдау реті эксперимент жүргізу кезіндегі сияқты қалады.

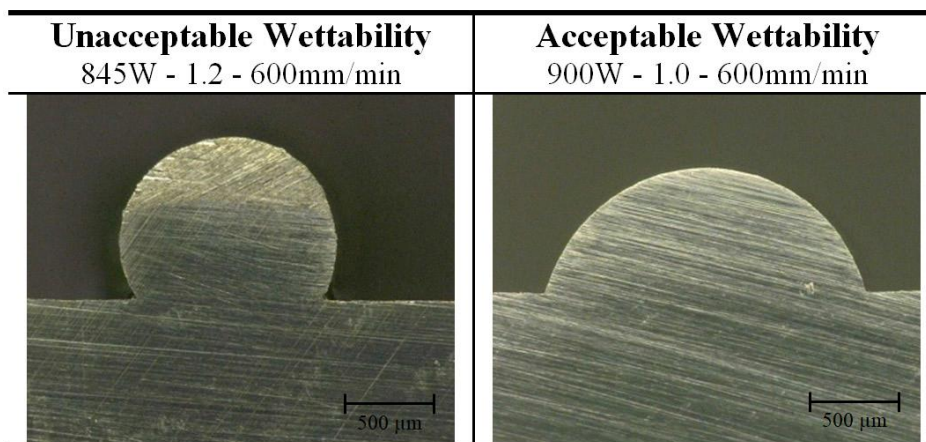
3.5.1. Жалғыз жолдар үшін параметрлік зерттеу

Жол сапасы қолайлы немесе жоқ екенін анықтайтын маңызды сипаттамалар бар. 4-суретте бет сапасы және борттың біркелкілігі сияқты олардың арасындағы әртүрлі физикалық сипаттамаларды көруге болатын бірнеше жол салынған төсеме пластинасы көрсетілген. Суретте екі аймақ бөлінеді: А аймағы қолайлы шөгінділердің кейбір мысалдарын көрсетеді, ал В аймағы беттің сапасы мен борттың біркелкілігі тұрғысынан кейбір қолайсыз қабаттарды көрсетеді.



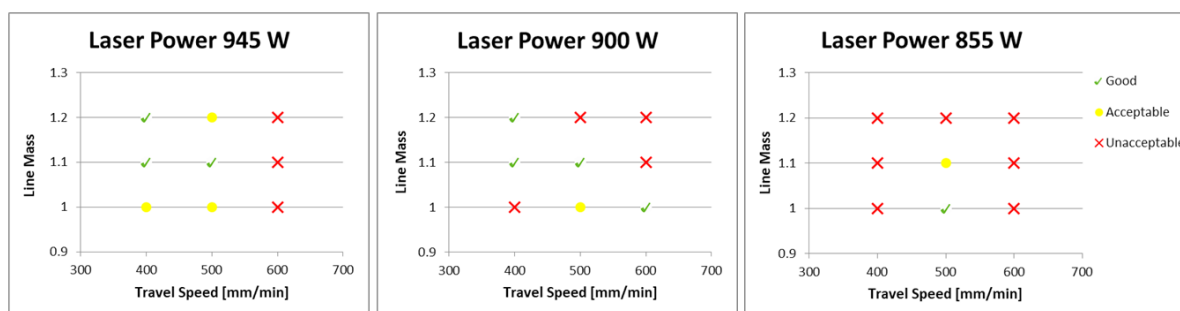
4-сурет- Лазер қуаты мен (а) және (Б) облыстарының ұлғаюымен түсірілген жалғыз жолдар жиынтығы, тиісінше, кейбір қолайлы және қолайсыз қабаттарды көрсетеді.

Әрбір тректің сулануы тректердің бүйірлік шөгуі бар қабаттарды өңдеу кезінде анықтаушы белгі болып табылады. 5-суретте жолдың дымқыл және қолайсыз сулануы бар жеке жолдардың көлденең қимасы көрсетілген. Соңғы қабат алу үшін бірнеше жолды бүйірлік жағу кезінде саңылаулардың түзілуін индукциялайды.



5-сурет- Жақсы дымқылданатын (оң жақ) және қолайсыз сулануды көрсететін жалғыз моншақ жолдарының көлденең қимасы (сол жақта).

6-суретте әрбір лазер қуаты (945, 900 және 800 Вт) үшін қозғалыс жылдамдығын (400, 500 және 600 мм / мин) ескере отырып, жақсы, қолайлы және қабылданбайтын тұндыруды көрсететін осы сапалық талдау нәтижелері келтірілген, сызықтық массасы 1,0, 1,1. және 1.2 (сымды беру жылдамдығы мен жүру жылдамдығы арасындағы қатынас). Нәтижелер лазерлік қуат бойынша топтастырылды, өйткені бұл лазермен қапталу процестеріне моншақтарды сипаттаудағы басты параметр болып саналады [21].

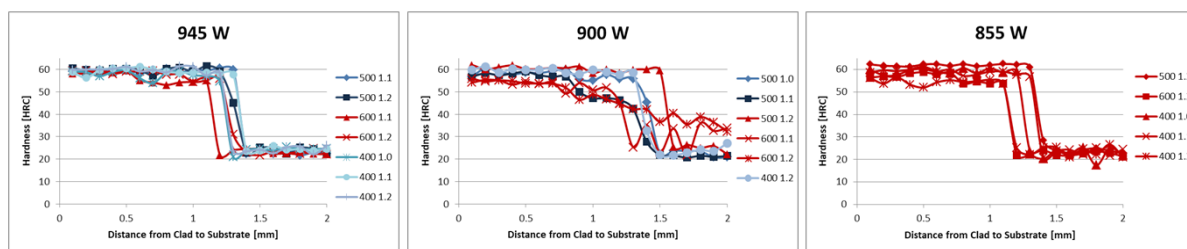


6-сурет- Жалғыз тректер үшін жүргізілген параметрлік зерттеу нәтижелері.

Лазер қуатының төмендеуімен қабылданбайтын тұндырудың көбеюін байланыстыруға болады. Сондай-ақ, пайдаланылатын 945 Вт және 900 Вт жоғары лазерлік қуат үшін жақсы және қолайлы тұндырудың көп мөлшері алынады. Сонымен қатар, лазер қуатына қарамастан, қолайлы жылдамдықты ұсынбайтын қозғалыс жылдамдығы мен сызықтық массаның кейбір

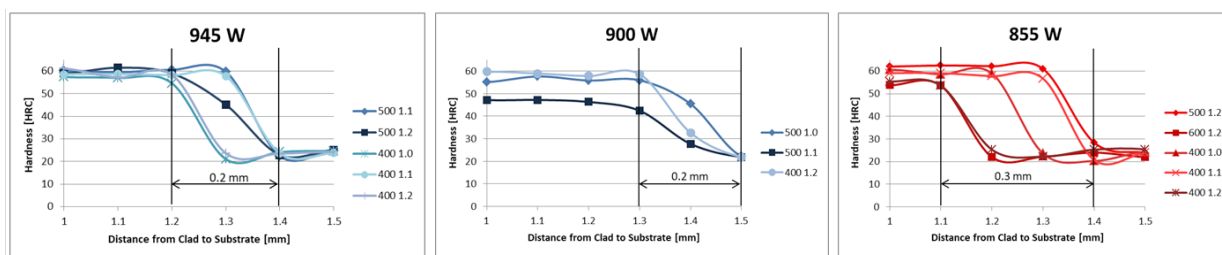
комбинацияларын байқауға болады, мысалы, 1,2 және 600 мм / мин. Нәтижелер өңдеу параметрлерін 945-900 Вт лазер қуаты, 400-500мм / мин жылдамдық және 1-1.1 массалық сызық аралығында таңдау керектігін көрсетеді.

Қаттылық профильдері өңдеу параметрлерін талдауға да ықпал етті. 7-суретте пайдаланылған лазерлік қуатқа сәйкес ұйымдастырылған жолдардың көлденең қимасында өлшенген қаттылық профильдері көрсетілген. Сондай-ақ, әр профиль сәйкесінше қозғалыс жылдамдығы мен жол массасының жиынтығын белгілейді. Қызыл сызықтардың профильдері алдыңғы сапалық талдауда қолайсыз ретінде жіктелген шөгінділерге, ал көк реңктері-жақсы немесе қолайлы шөгінділерге жатады. Бұл нәтиже күтеміз, себебі эксперимент арасындағы материал бірдей, ал энергия шығындары процестер кезінде түбегейлі өзгерген жоқ. Қаттылық профилі, негізінен, алдыңғы жіктемеге қарамастан, қорытылатын материалдың сипаттамаларымен анықталған.



7-сурет- Технологиялық параметрлердің қаттылық бейініне әсері.

Балқытылған материалдың химиялық құрамының қаттылыққа анықтаушы рөліне қарамастан, суретте көрсетілген балқыту сызығының жанында егжей-тегжейлі талдау.8, подложкамен сұйылту қолданылатын параметрлерге байланысты тербелістерді көрсетеді. Өткір көлбеу төменгі сұйылтуды білдіретінін ескере отырып, 945 Вт лазерлік қуатпен өңдеудің 900 Вт депозиттерімен салыстырғанда төмен сұйылтылған нәтижелер жиынтығын байқағанын байқауға болады. Қуаты 845 Вт лазермен өңделген шөгінділерде өлшенген қаттылық профильдері жол берілмейтін шөгінділердің сәйкес келмейтін геометриялық сипаттамаларына сәйкес нәтижелердің үлкен дисперсиясын көрсетті.



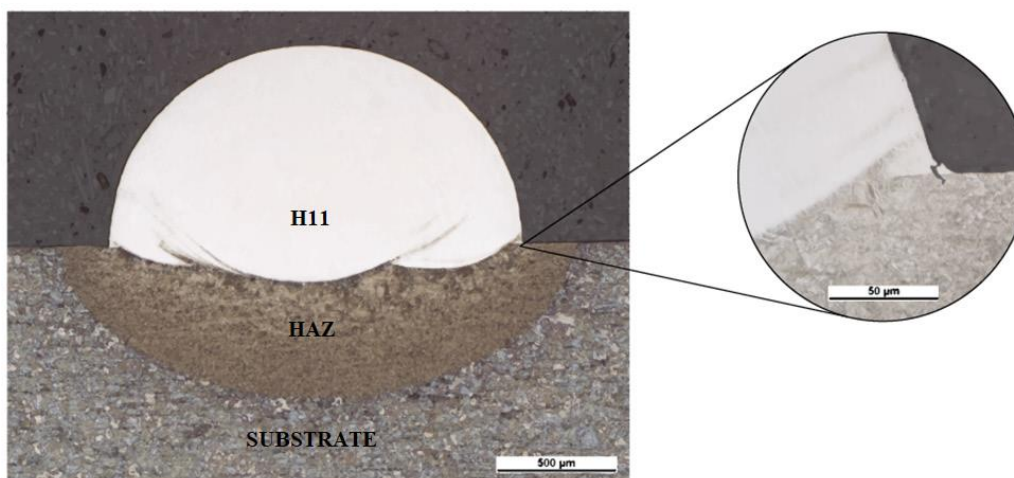
8-сурет- Балқытудың барлық желісі бойынша қаттылық профілін нақтылау.

Қарастырылған нәтижелердің негізінде келесі эксперименттер үшін Параметрлер жиынтығы таңдалды, кесте. 3. Іріктеу кезінде тұндырудың сапасы мен өнімділігі ескерілді. Ұқсас параметрлер әдебиеттерде H11 сымы және Nb ұнтағы бар лазерлік металды тұндыру үшін анықталды, авторлар 900 Вт лазер қуатын, 400 мм / мин жылдамдықты және 500 мм / мин сым беру жылдамдығын қолданып, сызық массасын берді саны 1.25.

3-кесте. H11 сым негізіндегі лазерлік тұндыру үшін өте жақсы параметрлер жиынтығы.

Laser Power	Travel Speed	Wire Feed Rate	Line Mass
900 W	500 mm/min	550 mm/min	1.1

Рұқсат етілген эллиптикалық жолдың қимасының талдауы 9 суретте көрсетілген. Термиялық жолдың егжей-тегжейлі талдауы, 9-суретте келтірілген, ұсақталған жарықтар анықталды. Алайда, бұл аймақ W-LMD процесі кезінде келесі сақталған жолдың бүйір қабаттасуымен байланысты болғандықтан, бұл жарықтар маңызды кемшілік болған жоқ.

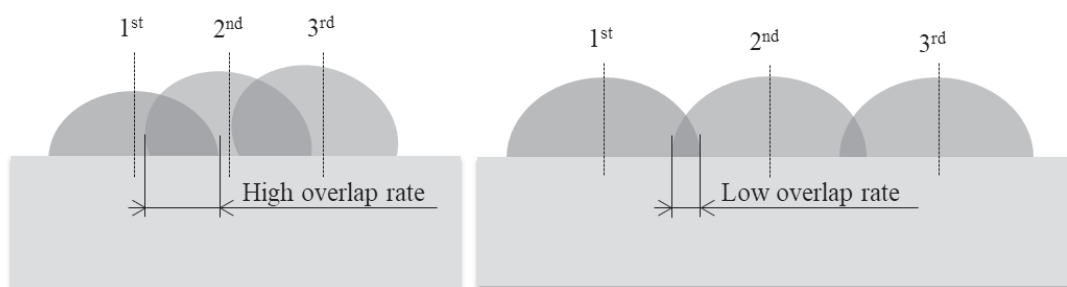


9- сурет- Жалғыз моншақтың көлденең қимасының микроқұрылымы.

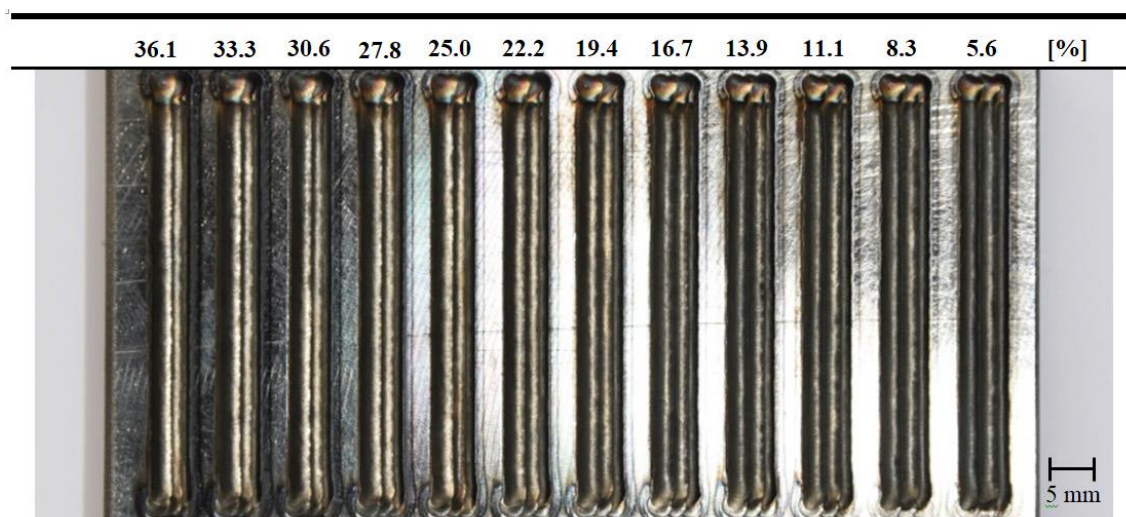
3.5.2. Бүйір жабынын талдау

Бүйірлік жабу жылдамдығы бір қабатты зерттеу кезінде талданатын параметр болды. Жоғарыда айтылғандай, қабаттың биіктігі біртектілігі көп қабатты бөліктің сәтті жасалуы үшін өте маңызды. 10-суретте шамадан тыс қабаттасудың бағалық сызбасы көрсетілген. Егер бүйір қабаттасу жылдамдығы тым жоғары болса, материалды пайдалану тиімділігі төмендейді. Егер бүйір қабаттасу жылдамдығы тым аз болса, жолдар арасындағы терең мәнделері бар беткейдің топографиясы қалыптасады, ол келесі қабатқа теріс әсер етуі мүмкін, бұл көп қабатты бөліктерде пайда болады.

11-суретте сәйкестік деңгейлері сәйкесінше солдан оңға қарай ~ 36% -дан 5,6% -ға дейін көрсетілген.



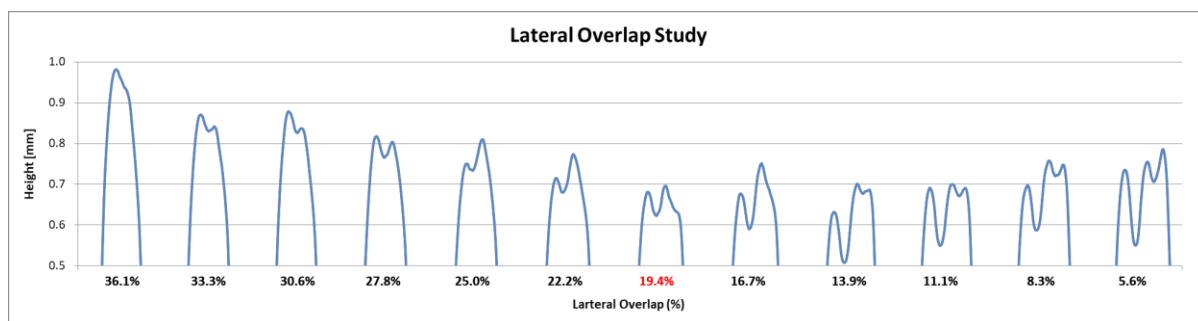
10-сурет- Жабудың экстремалды бүйірлік жылдамдықтарын схемалық түрде көрсету.



11-сурет- Бірнеше жағылған бір қабаттары бар төсеніштің пластинасы және бүйір жабынының әр түрлі жылдамдығы бар әрбір қабаты.

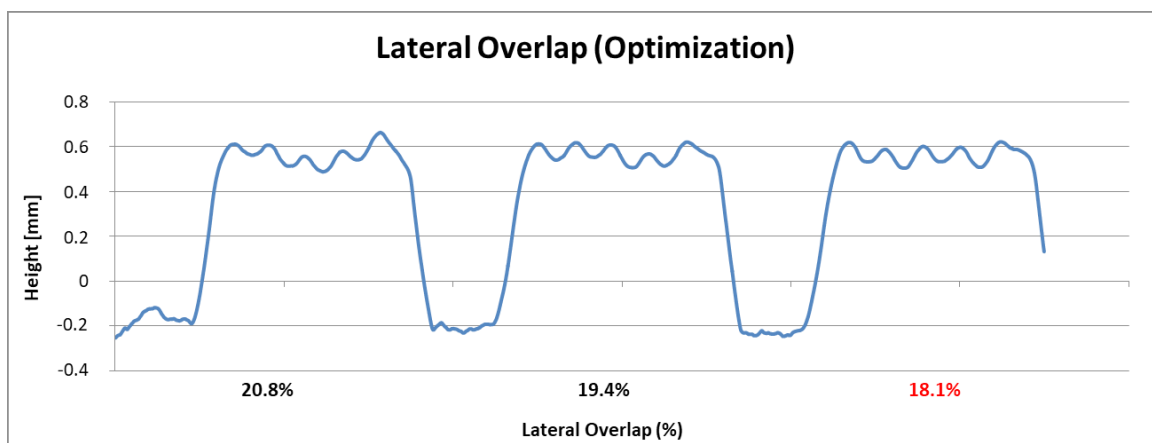
Қабаттасу жылдамдығын талдау лазердің жылжу сенсорымен өлшенген беттің профилін анықтауға қатысты, 12-сурет. Сақталған ені мен жинақталған

моншақтар беттері топографиясы арасындағы тепе-теңдік ең жақсы қабаттасуға мүмкіндік береді.



12-сурет- Бүйір жабынының әр түрлі жылдамдықтарын есепке ала отырып қабаттардың профилі.

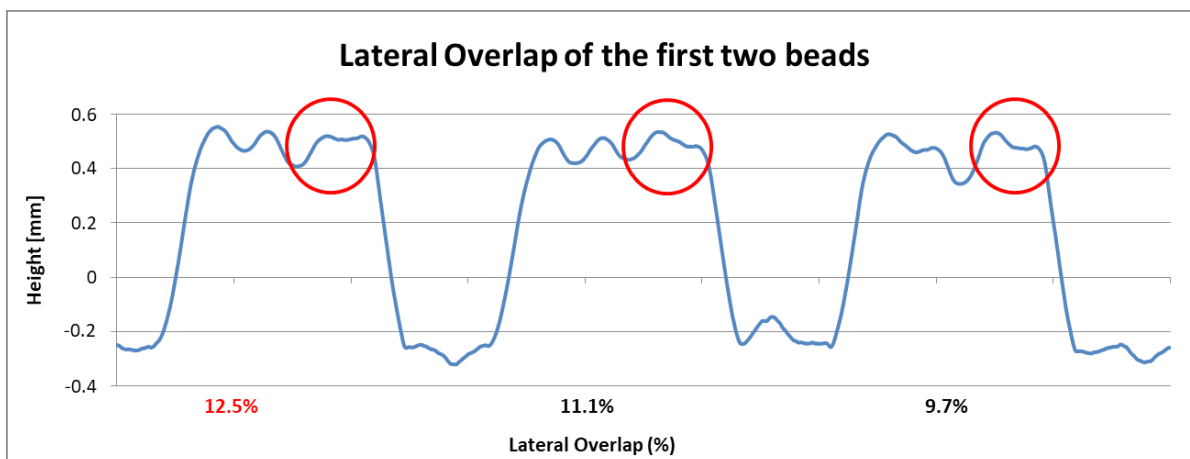
11 және 12-суреттерде ұсынылған нәтижелер жиынтығының талдауы бүйірлік жабу коэффициенті 25% - дан артық болғанда материалдың тиімділігі төмендегенін көрсетті, ал бүйірлік жабу коэффициенті 13,9% - дан кем болғанда беттің топографиясы бұзылады. Осылайша, 25% - дан 19,4% - ға дейінгі диапазондағы жабу жиілігі тегіс беттерге әкелді. Осы талдауды нақтылау ~18% - дан 20,8% - ға дейінгі диапазонда бүйірлік жабу коэффициенті бар алты (6) шектес жол салуды қамтыды, олардың топографиялық профилдері ең жақсы нәтиже беру үшін жабудың төменгі жиілігін көрсетті. 13.



13-сурет-Бүйір қабаттасуын талдауды оңтайландыру.

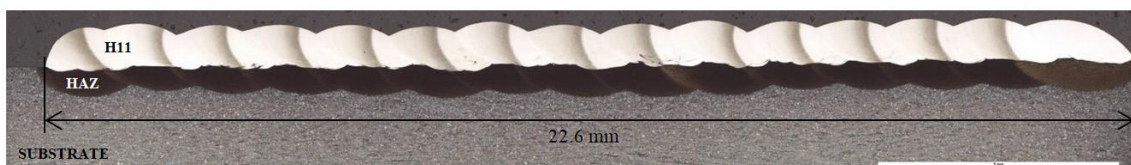
Үстіңгі қабаттың профилдері, егер бірінші түсірілген жолдардың биіктігін бақыласа, одан әрі жақсартуларға қол жеткізілетінін көрсетті. Алғашқы суық субстратқа салынған кезде, ол аз ылғалданады, демек, екінші жол қабаттың орташа биіктігінен сәл жоғары, бұл бастапқы тректерде әртүрлі қабаттасу жылдамдығын қолдануға болады. 14-суретте көрсетілгендей,

идеалды қабаттасу жылдамдығы 18,1% құрайды, бірінші және екінші жолдың қабаттасуы қабаттың қалған бөлігіне қарағанда сәл төмен болуы мүмкін. Нәтижелер бірінші және екінші жолдың қабаттасуы 12,5% деңгейінде болған кезде тегіс беткі профильге қол жеткізілгенін көрсетті.

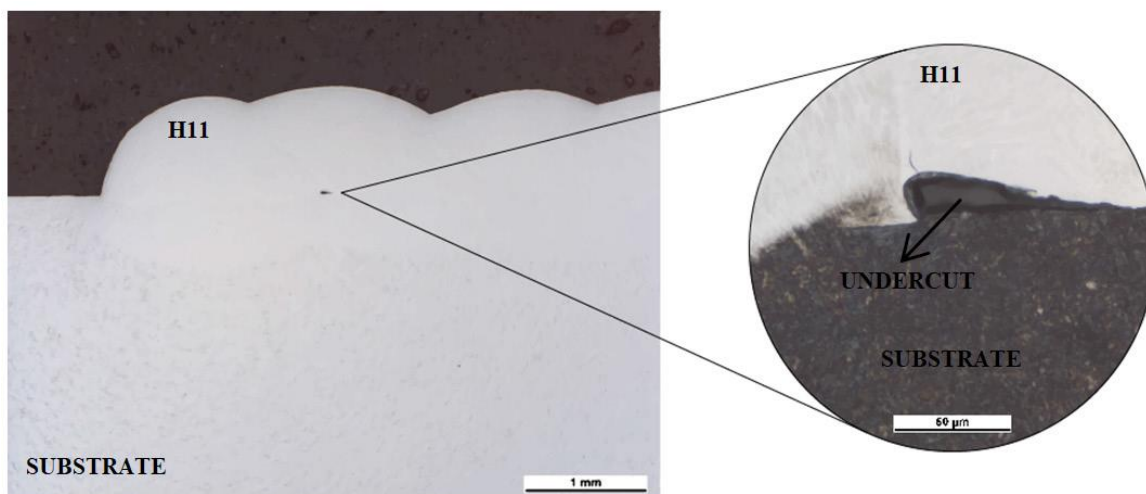


14-сурет- 1-ші және 2-ші жолдардың жанама қабаттасу жылдамдығын талдау.

15-суретте 18,1% және 12,5% қабаттасу жылдамдығы бар 15 жеке жолдан тұратын қабаттың әдеттегі көлденең қимасы көрсетілген (1-ші және 2-ші жолдар арасында). Қабаттың жалпы ұзындығы анықталады және қабаттағы HAZ субстрат қабатының жанындағы субстратта қараңғы аймақ ретінде байқалады. Бұл лазерлік қоспаларды өндіру процесінде бірінші қабат болады. Төмен қабаттасу жылдамдығымен байланысты ақау, асты сызудың мысалы 16 суреттің қосымшасында көрсетілген.



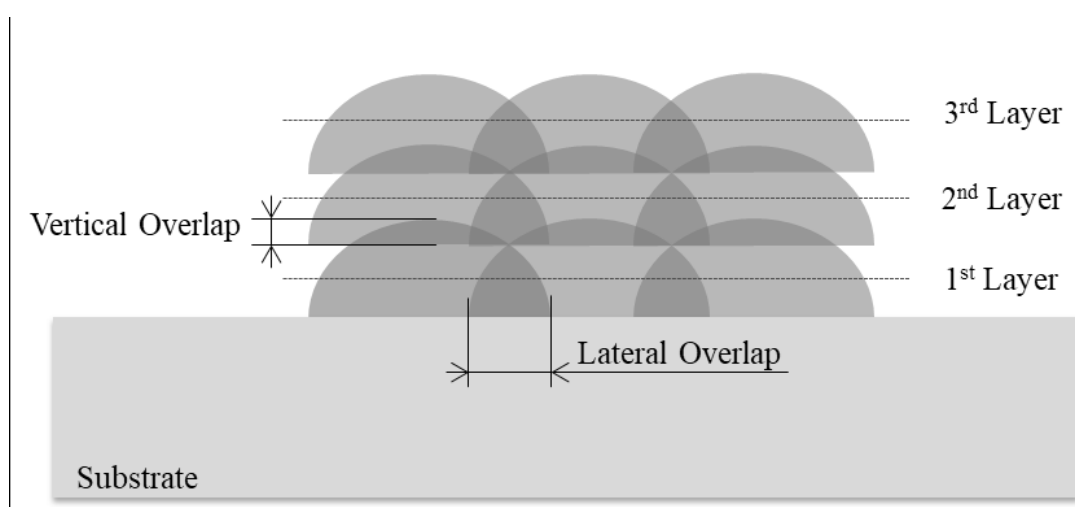
15-сурет- Бір қабаттың көлденең қимасы және оның жалпы ұзындығы.



16-сурет- Бір қабаттың көлденең қимасы, қабаттасудың жеткіліксіз деңгейімен байланысты ақауды көрсетеді.

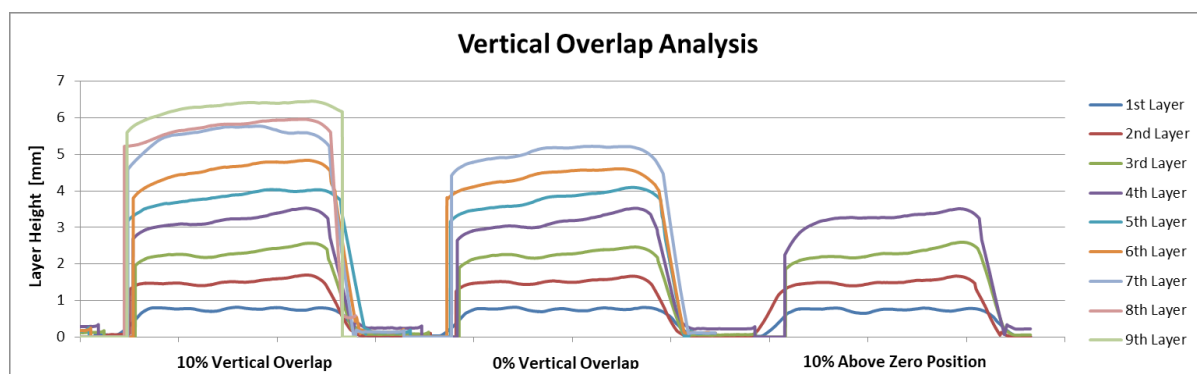
3.5.3. Тік қабаттасуды талдау

Тік қабаттасу жылдамдығы көп қабатты зерттеу кезінде талданған параметр болды. Осы зерттеудің алдыңғы кезеңдері дыбыстық және біртекті қабатты өңдеуге сәйкес келетін өңдеу параметрлерін анықтауға бағытталған, бірақ сым негізіндегі процесте қабат профилінде кішігірім келіспеушіліктер әрқашан болады, бірақ бөліктің орнықтылығын бұзбайды. Соған қарамастан, қосымша қабатты өндіріс процесінде, кейінгі қабаттар шоғырланған кезде, тоқтату күшейе түсетінін атап өткен жөн. Қабат бойындағы биіктіктің өзгеруін азайту үшін қабаттар арасындағы тік қабаттасудың әсерін бағалау үшін бөлікті салу өте маңызды болып табылады (17-сурет).



17-сурет- Тік және бүйір жабындыларының схемалық суреті.

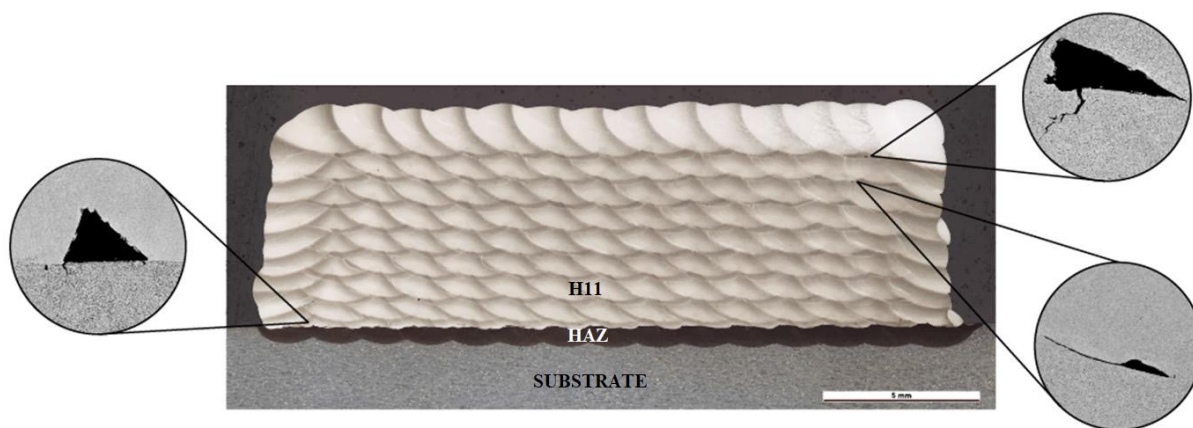
Үш блок түрлі тік жабынмен шөгінді, және әрбір қабаттың профилі лазерлік ығысу датчигінің көмегімен тұндырғаннан кейін тікелей өлшенді. Тік жабу коэффициенті лазердің фокустық нүктесін және фокустық нүктеден 10% жоғары және төмен жабу қашықтығын ескереді. - Сур. 18 әрбір сыналған тік жабу үшін әрбір қабат профилі көрсетілген.



18-сурет- Тік қабаттасудың нақты ставкаларын ескере отырып, қабат профилдері.

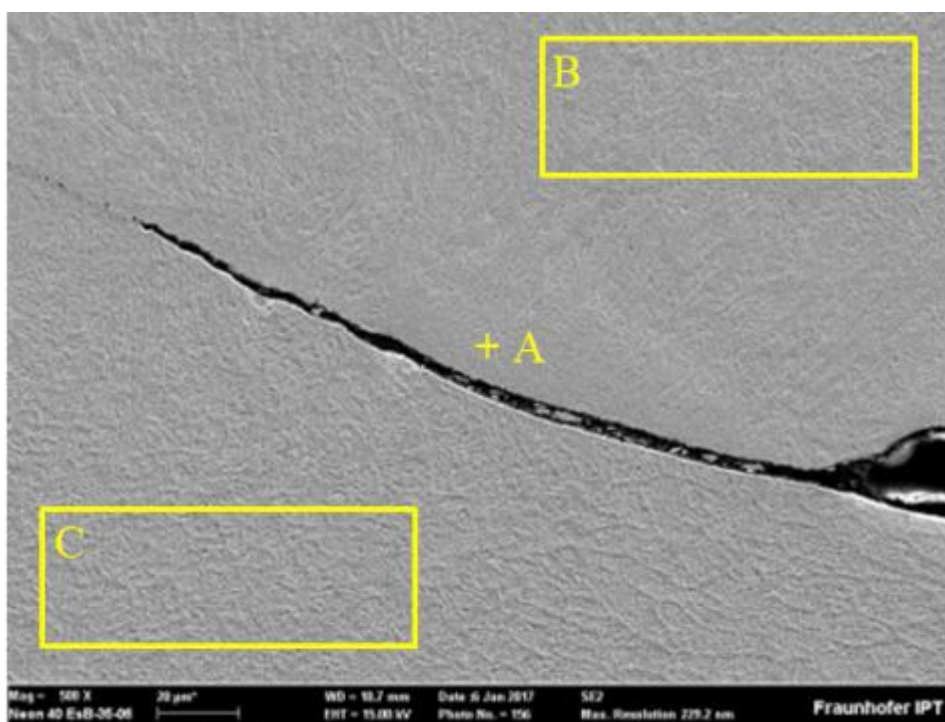
Әр блок үшін жүйеленген қабаттар автоматтандырылған процесс тоқтағанға дейін немесе тұндыру кезінде қате орын алса, мысалы, сымның тамшылатуы және пышақталуы арқылы орналастырылды. Алдыңғы қабаттың орташа кедір-бұдырлығынан 10% жоғары қабаттасу арқылы өңдеу қатардың төрт (4) қабатын салуға мүмкіндік берді. Егер тік қабаттасу жылдамдығы көрсетілген болса, онда орташа жеті (7) өңделді, бірақ лазердің фокустық нүктесі алдыңғы қабаттың орташа кедір-бұдырлығынан 10% төмен болған кезде алынған қабаттасу жылдамдығы үшін 10-қабатта өңдеу тоқтатылды. Тік қабаттасу өнімділіктің маңызды параметрі болып табылады, сондықтан оны ең жоғары өсу қарқынын ұсынатын минимумға дейін сақтау керек.

Көп қабатты құрылымның көлденең қимасының талдауы 19-суретте көрсетілген, әр қабаттың іздері көрсетілген. Процесс кезінде жылулық әсер етуші аймақтың (HAZ) кіші шеңбері жасалынған. Кірістірулер шөгінділерде анықталған кейбір ақауларды атап өтеді. Сол жақта орналасқан жол 1-ші және 2-ші қабаттасқан жол мен субстраттың интерфейсында, бірдей сипаттамалары бір қабатты талдау үшін талқыланады. Соған қарамастан, қабаттар арасында басқа асты сызулар табылды (19-суреттің оң жағындағы суреттер). АМ дыбыстық бөлігін алу үшін тік қабаттасу жылдамдығын одан әрі талдау қажет екендігі көрсетілген. Әрбір қабаттың биіктігінің гетерогенділігін төмендету үшін одан әрі дамыту перпендикуляр қабаттарды енгізу немесе өңдеу қабатын 180° айналдыру арқылы өңделу бағытын өзгертуді қамтуы мүмкін, осылайша әрбір қабаттың қабаты алдыңғы қабаттың соңында басталады.



19-сурет - Көп қабатты құрылымның көлденең қимасының микроқұрылымы. Кірістірулер қабат арасында анықталған ақауларды көрсетеді.

Ақауларға жақын аймақты одан әрі талдау химиялық құрамның ауытқуын анықтады, 20 және 4 кесте. Ақауларға жақын орналасқан А аймағы В және С аймақтарына қарағанда мыстың (Cu) жоғары іздерін көрсетті. Бұл сегрегация микроқұрылымға әсер етпесе де, сымдағы Cu рөл атқарады деп болжайды. Ақаулардың пайда болуын және LMD-W бөлшектерін жақсарту үшін қажетті процедураларды бағалау үшін неғұрлым егжей-тегжейлі талдау жасау керек.



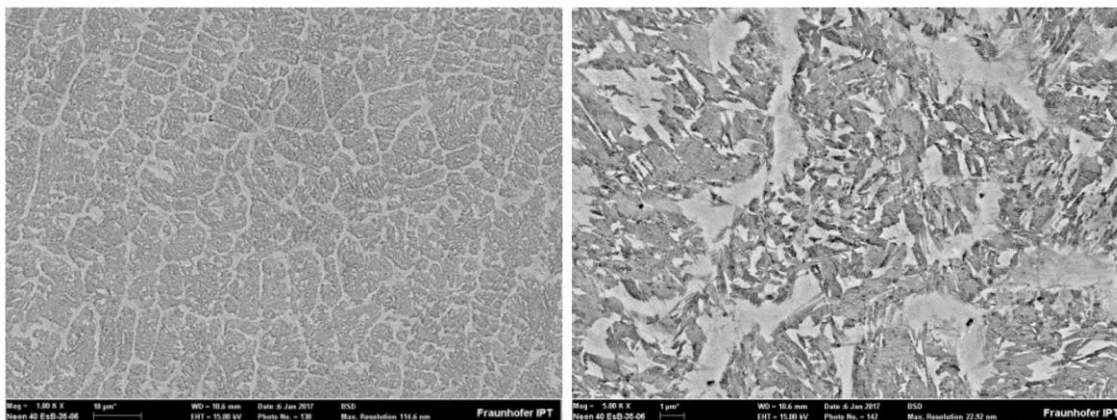
20-сурет - Көп қабатты құрылымдағы қабаттар арасындағы химиялық құрамы анықталған аймақтар (А), (В) және (С).

4-кесте. Аймақтардың химиялық құрамы 21-сурет бойынша талданады

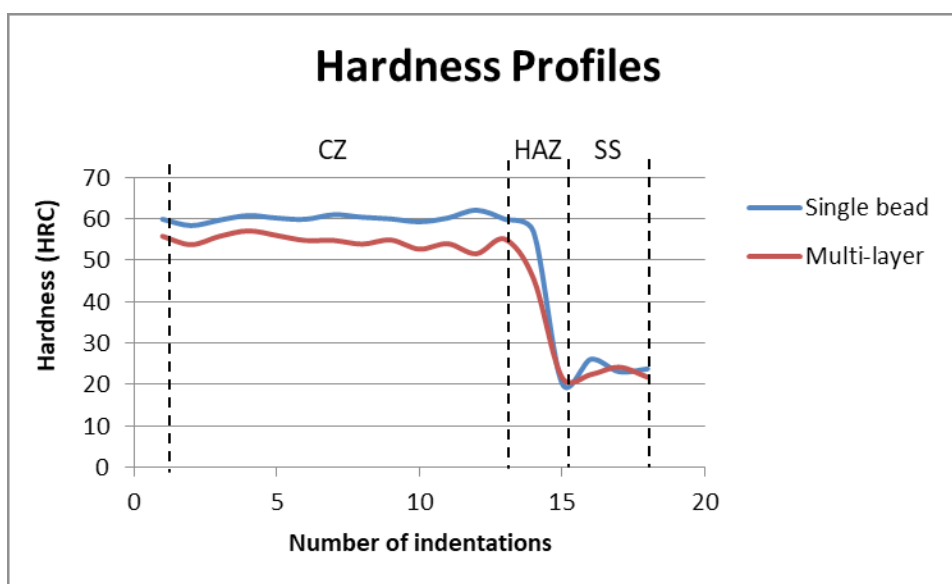
	Si %	V %	Cr %	Fe %	Cu %	Mo %
A	1.00	0.52	4.82	83.09	8.52	2.05

B	1.16	0.44	5.30	90.18	1.09	1.83
C	1.17	0.37	5.33	90.62	0.72	1.79

Тұндырылған қабаттардың микроқұрылымын талдау жұқа дендриттермен қатайтудың типтік құрылымын көрсетті, 21-суретте қабаттар арасындағы байланысты нығайтуға ықпал ететін эпитакиялық өсу байқалған [22]. Хром, молибден және ванадий карбидтері шоғырланған.



21-сурет Үлкендігі 1000x және 5000x болатын жабық аймақтың (H11) микроқұрылымы.



22-сурет- Көп қабатты процестің жабық бөлімдердің микроқаттылық профиліне әсері.

Көп қабатты өңдеудің әсерін сонымен қатар көп қабатты құрылымның қаттылық профилін және бірдей параметрлермен өңделетін бір жолды шөгінділерді анықтауға болады, 22-сурет (корреляциялық мақсаттар үшін профильдер шегіністер санын ескереді, өлшеулер арасындағы қашықтық 0,1 мм

болды) көп қабатты және жеке жол үлгілері үшін сәйкесінше 0,5 мм-ден). 22-суретте үш түрлі аймақты анықтауға болады: жабық аймақ (CZ), жылу әсер ететін аймақ (HAZ) және субстрат (SS). Көп қабатты үлгілерде өлшенген қаттылықтың азаюын ескере отырып, көп қабатты бөліктерде жинақталған материалдың еруі және қызуы нәтижесінде пайда болатын бірнеше жылу циклдары.

ҚОРЫТЫНДЫ

Н11 сым негізіндегі лазерлік металды тұндыру үшін параметрлік зерттеу жасалды және орындалды. Нәтижелер өңдеу параметрлері бетінің сапасына, жолдың біркелкілігіне және Н11 болат жолдарының интерфейсіне әсер еткенін көрсетті. Көрсетілгендей, параметрлердің бір ғана жиынтығы жоқ, бірақ тұрақты тұндыруға мүмкіндік беретін лазерлік қуаттың шектеулі диапазоны бар. Тексерілген шарттар үшін өңдеу параметрлерінің өзгеруі бір жолды шөгінділердің қаттылығына айтарлықтай әсер етпеді. Алайда, көп қабатты құрылымның бірнеше жылу циклдері қаттылықтың төмендеуіне әкелді.

Диплом жазу барысында барлық қойылған мақсаттарға толық қол жеткізілді.

Laser Metal Deposition технологиясы толық зеттедік, және параметрді, бір қабатты, бір жақты, жалғыз моншақтарды тоық анықтадық.

Зерттеу сонымен қатар бүйірлік және тік қабаттасу жылдамдығы LMD-W бөлігін құрудың негізгі факторлары болып табылатындығы атап өтілді. Өте жоғары / төмен бүйірлік қабаттасу жылдамдығы қосымша өндіріс процесінің көп қабатты құрылымын бұзды. Тік қабаттасу әр қабаттың биіктігінің біртектілігіне, қабат-қабат техниканың сәттілігінің шешуші факторына байланысты болды. Соған қарамастан, бүйірлік және тік қабаттасу кезінде пайда болатын өңдеу ақауларының болуы, біртектілікке қол жеткізу үшін бос орындар мен тесіктердің болмауынсыз дыбыс бөлігін алуға мүмкіндік беретін қабаттасу жылдамдығын бақылау қажет екенін көрсетті.

ПАЙДАЛАНЫЛГАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Shah K, Haq I, Khan A, Shah SA, Khan M, Pinkerton AJ. Parametric study of development of Inconel-steel functionally graded materials by laser direct metal deposition.
- 2 Klocke F, Arntz K, Teli M, Winands K, Wegener M, Oliari S. State-of-the-art laser additive manufacturing for hot-work tool steels.
- 3 Kobryn P, Ontko NR, Perkins LP, Tiley JS. Additive manufacturing of aerospace alloys for aircraft structures. In: Meeting Proceedings
- 4 Mazumder J, Song L. Advances in direct metal deposition. In: American Society of Mechanical Engineers – ASME. Advanced manufacturing. San Diego: ASME; 2013
- 5 Paul S, Thool K, Singh R, Samajdar I, Yan W. experimental characterization of clad microstructure and its correlation with residual stresses.
- 6 Vilar R. Laser cladding. International Journal of Powder Metallurgy. 2000;37:31-48.
- 7 Zhou S, Dai X, Zeng X. Effects of processing parameters on structure of Ni-based WC composite coatings during laser induction hybrid rapid cladding.
- 8 Parekh R, Buddu RK, Patel RI. Multiphysics simulation of laser cladding process to study the effect of process parameters on clad geometry.