

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

Шерипбаев Турар Парахатулы

«Өнімді жасау кезінде 3D Laser Cladding 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 жасау кезінде 3D Laser Cladding аддитивті
технологиясын қолдануды зерттеу»

5B071200 – Машина жасау

Орындаған

Шерипбаев Турар Парахатулы

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 Шерипбаев Турар Парахатулы

Тақырыбы «Өнімді жасау кезінде 3D Laser Cladding аддитивті технологиясын қолдануды зерттеу»

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

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

Дипломдық жобаның бастапқы берістері бұйым жасау Laser Cladding лазерлік балқыту тарихын және қолдануды зерттеу

Дипломдық жобада қарастырылатын мәселелер тізімі

а) Құю әдісімен лазерлік қаптау

б) Лазерлерді анықтау

в) Ұнтақ беретін бір сатылы лазерлік балқыту процесі

Ұсынылған негізгі әдебиет: 9 атау

Дипломдық жобаны дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәліметтер тізімі	Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
Кіріспе. Laser Cladding лазерлік балқыту тарихын зерттеу		
Құю әдісімен лазерлік қаптауды анықтау		
Лазерлерді анықтау		
Қабаттарды басу эксперимент (40%, 50% және 60% процентерінде толтыру)		

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 _____ Шерипбаев Т. П.

Күні «__» _____ 2020 ж.

АНДАТПА

Негізгі дипломдық жұмыста Laser cladding/Лазерлік балқытуларды зерттедік. Laser Cladding лазерлік балқыту тарихын және лазермен қаптауды анықтадық. Лазерлік балқыту, легирлеу және шынылау арасындағы айырмашылықтарында қарастырдық. Екі сатылы лазерлік қаптама (алдын-ала орналастырылған лазерлік қаптама) тоқталдық. Құю әдісімен лазерлік қаптауды зерттедік. Өлшемді сипаттамалары мен сұйылтуға да тоқталдық. Лазерлік қаптама жабдығын қарастырдық. Сонымен қатар лазер түрлерінде анықтадық.

Қабаттарды басумен қатар жүретін бір қабат әдетте, қалыптау жұмыстарында қолданылады, ал бір-біріне қабаттасқан қабаттар металдың металлургиялық қасиеттерін жақсарту үшін металл бетін жабу үшін қолданылады. Қабаттап басудың эксперименті 40%, 50% және 60% толтыруымен үш қабатты қабаттастыру жоспарлануда, бірақ уақыт пен шығынға байланысты екі рет қайталанатын. Микроскопен қабаттың өлшемі мен профиліне байланысты пішін параметрлерін алу үшін белгілі бір ұлғайту орнатылады және олар төменде қысқаша сипатталған. Бұл бақылау 10 қабатты және 25 қабатты болаттан жасалған ұнтақты төсеніште қаптау үлгілерін дайындауды одан әрі зерттеумен бекітіледі.

АННОТАЦИЯ

В основной дипломной работе мы изучали Laser cladding/лазерные плавки. Laser Cladding определил историю лазерной плавки и покрытие лазером. Мы рассматривали различия между лазерной плавкой, легировкой и остеклением. Двухступенчатая лазерная упаковка (предварительно размещенная лазерная упаковка) остановлена. Исследовали лазерную упаковку методом литья. Останавливались и на измерительные характеристики и разбавления. Мы рассматривали оборудование для лазерной упаковки. Также мы определяли виды лазеров.

Один слой, сопровождающийся печатанием слоев, обычно применяется при формовочных работах, а слои, совмещенные друг с другом, используются для покрытия поверхности металла для улучшения металлургических свойств металла. Эксперимент пластовой печати планируется трехслойный с заполнением 40%, 50% и 60%, но повторяется дважды в зависимости от времени и потерь. Микроскопом устанавливается определенное увеличение для получения параметров формы в зависимости от размера и профиля слоя, и они кратко описаны ниже. Этот контроль закрепляется с дальнейшим изучением изготовления образцов упаковки в порошковой настиле из 10-слойной и 25-слойной стали.

ANNOTATION

In the master thesis work we have studied the Laser cladding/laser heat. Laser Cladding has determined the history of laser melting and laser coating. We looked at the differences between laser melting, alloying, and glazing. Two-stage laser packaging (pre-placed laser packaging) is stopped. Laser packaging was studied by casting method. We also stopped at measuring characteristics and dilutions. We considered equipment for laser packaging. We also determined the types of lasers.

A single layer, accompanied by printing layers, is usually used in molding operations, and layers combined with each other are used to cover the surface of the metal to improve the metallurgical properties of the metal. The formation printing experiment is planned to be three-layer with 40%, 50% and 60% filling, but is repeated twice depending on time and losses. The microscope sets a certain magnification to obtain shape parameters depending on the size and profile of the layer, and these are briefly described below. This control is fixed with further study of the production of packaging samples in powder flooring of 10-layer and 25-layer steel.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	8
1 Өр түрлі атаулар, бірдей технологиялар	10
1.1 Laser cladding/Лазерлік балқыту	12
1.2 Laser Cladding лазерлік балқыту тарихы	14
1.2.1 Қаптау	15
2 Анықтамалық ақпарат және негізгі мәліметтер	19
2.1 Материалдарды өңдеудің лазерлік әдістері	19
2.2 Лазерлік балқыту, легирлеу және шынылау арасындағы айырмашылықтар	19
2.3 Түрлі лазерлік балқыту/ Laser cladding әдістері	21
2.3.1 Екі сатылы лазерлік қаптама (алдын-ала орналастырылған лазерлік қаптама)	23
2.3.2 Лазерлі сыммен қоректендіру	24
2.3.3 Құю әдісімен лазерлік қаптау	25
2.4 Өлшемді сипаттамалары	26
2.5. Сұйылту	26
2.6 Лазерлік қаптама жабдығы	27
2.6.1 Лазерлер	27
2.6.2 Ұнтақ беретін бір сатылы лазерлік балқыту процесі	27
3 Қабаттарды басу эксперимент (40%, 50% және 60% процентерінде толтыру)	31
3.1 Бірнеше қабаттарды төсеу шарттары	32
Қорытынды	36
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	37

КІРІСПЕ

Лазерді қолдану жылдам өсуімен және лазер жүйесінің құнының төмендеуімен, лазерлік материалдарды өңдеу әр түрлі салаларда маңызды рөлге ие болды. Машина жасау, аэроғарышта әскери-теңіз күштерінде, қорғаныс және басқа да көптеген салаларда дәнекерлеу, кесу және қатайту үшін лазерлік технология кеңінен қолданылады. Лазермен қаптау процесі қабатты өндіріс пен прототиптеу техникасын ұсынады. Көптеген қабаттарға кесілетін САД үш өлшемді қатты денелі моделімен лазерлік балқыту технологиясының интеграциясы күрделі компоненттерді аралық кезеңдерсіз дайындау мүмкіндігін қамтамасыз етеді. Әдебиетке шолу кезінде лазерлі қаптау технологиясына оның әртараптандырылған қосымшаларына негізделген көптеген атаулар берілгенін көрсетеді. Мысалы, «лазерлік қаптау» басқа, зерттеушілер «лазерлі жабынды» [1, 2], «лазерлі ұнтақты тозаңдату» [3, 4] немесе «лазерлі балқыту» [5, 6, 7] деген терминдерді қолданады. Лазерлік балқыту дәнекерлеу және плазмалық тозаңдату сияқты дәстүрлі процестерімен салыстырғанда көптеген артықшылықтар береді. Осы технологияны пайдалана отырып жасалған бөлшектер таза пішінге жақын, бірақ көбінесе түпкілікті өңдеуді қажет етеді. Олар сондай-ақ жақсы бұйымның құрылымына ие және одан да жақсы қасиеттері бар.

Лазерлік балқыту технологиясы дәстүрлі өндіріс технологияларымен салыстырғанда бірқатар артықшылықтарды болғанымен, бұл процесс кейбір кемшіліктерге ие. Процестің бұзылуына байланысты бұйым сапасы айтарлықтай өзгеруі мүмкін. Сапаның ауытқуы тіпті бірдей жұмыс жағдайында орындалған өңдеу циклдерінің арасында байқалуы мүмкін. Осы топтардың арасында алдымен Уильям М.Стиннің Англиядағы Лондон университетінің Императорлық колледжінде, содан кейін 1988 жылы сәуірде көшіп келген Ливерпуль университетінде өткізген жобасы лазерлік балқыту Laser Cladding технологиясының дамуына үлкен әсер етті [6, 42].

Қаптау немесе материалдың жұқа қабатын (мысалы, металдар мен керамика) таңдалған материалдың бетіне түсіреді. Бұл шөгіндінің үстіңгі қасиеттерін шөгінді материалдың қасиеттеріне өзгертеді.

Титан негізіндегі қорытпалар[69, 70, 71, 72], никель негізіндегі ыстыққа төзімді қорытпалар[73, 74, 75, 76, 77, 78], кобальт негізіндегі қорытпалар [79, 80, 81] мен легирленбеген болат, шындалған болат, тот баспайтын болат, алюминий қорытпалары, никель немесе кобальт негізіндегі шойын және т.б. қорытпалар сияқты әртүрлі төсемелерге шөгілетін маңызды қорытпалардың бірі болып табылады. Балқытылған бастиегіне ұнтақ қосу материалдың түріне

және мөлшеріне байланысты үш түрлі өнім жасай алады. Екі сатылы үдерісте бірінші саты лазерлік сәулеленудің алдында орналастырылатын жабын материалының қабатынан тұрады. Содан кейін ол екінші сатыда лазерлік сәулемен төселген материалмен бірге балқытылады. Алдын ала орналастырылған лазерлік қаптау - жабу және прототиптеу үшін қолданылатын қарапайым әдіс. Бұл процеске бірнеше мәселелер қатысты. Алдын ала орналастырылған ұнтақ бөлшектері субстратпен жеткілікті түрде байланысып қана қоймай, сонымен қатар бір-біріне жеткілікті үйлесімділікке ие болуы керек.

Қабаттарды басумен қатар жүретін бір қабат әдетте, қалыптау жұмыстарында қолданылады, ал бір-біріне қабаттасқан қабаттар металдың металлургиялық қасиеттерін жақсарту үшін металл бетін жабу үшін қолданылады. Қабаттап басудың эксперименті 40%, 50% және 60% толтыруымен үш қабатты қабаттастыру жоспарлануда, бірақ уақыт пен шығынға байланысты екі рет қайталанады.

Микроскопен қабаттың өлшемі мен профиліне байланысты пішін параметрлерін алу үшін белгілі бір ұлғайту орнатылады және олар төменде қысқаша сипатталған.

Лазерлік балқыту ортасы қатты байланысты болғандықтан, қабаттардың биіктігі мен енінің ауытқушылық өзгеруінің шынайы себебін түсіну қиын.

Бұл бақылау 10 қабатты және 25 қабатты болаттан жасалған ұнтақты төсеніште қаптау үлгілерін дайындауды одан әрі зерттеумен бекітіледі.

Өндіріс процесінің параметрлері мен қабатардың соңғы геометриясы арасында маңызды өзара әрекеттесулер болуы мүмкін.

1 Әр түрлі атаулар, бірдей технологиялар

Лазерді қолдану жылдам өсуімен және лазер жүйесінің құнының төмендеуімен, лазерлік материалдарды өңдеу әр түрлі салаларда маңызды рөлге ие болды. Машина жасау, аэроғарышта әскери-теңіз күштерінде, қорғаныс және басқа да көптеген салаларда дәнекерлеу, кесу және қатайту үшін лазерлік технология кеңінен қолданылады. Лазерлік технологияны қолдануда, соңғы жылдары лазерлік қаптама материалды өңделуі, қымбат компоненттерді жөнделуі, прототиптеу және тіпті аз көлемді өндіріске байланысты маңыздылығы артуда.

Лазерлік қаптау дегеніміз (Laser cladding)- лазерлік технологияны, автоматтандырылған жобалауды және өндіруді (CAD / CAM) жүйесінде, сенсорлар мен басқару және ұнтақты металлургияны қолданатын технология болып табылады.

Laser cladding/Лазерлік қаптама лазерлік жылу көзін пайдаланып, талап етілетін металдың жұқа қабатын жылжымалы төсенішке (подложку) салады. Балқытылған материалды төсенішке (подложку) бірнеше тәсілдермен беруге болады, олар: ұнтақты бүрку ретінде, төсенішке (подложку) алдын ала орналастырылған ұнтақ немесе сым арқылы беру жолымен. Осы әдістердің ішінде ұнтақты бүрку арқылы лазерлік қаптау ең тиімді болып табылады. Бұл процесте лазер сәулесі ұнтақтың бөлшектерін және ұнтақ бөлшектерінің қабатын төсенішке (подложку) салу үшін жылжымалы төсеніштің (подложка) жұқа қабатын балқытады. Қалыңдығы 0,05-ден 2 мм-ге дейін және ені 0,4 мм-ге дейін қабат қалыптастыру үшін көптеген материалдарды ұнтақ бүрку арқылы лазерлік қаптаманы қолдана отырып, төсенішке (подложка) салуға болады.

Лазермен қаптау процесі қабатты өндіріс пен прототиптеу техникасын ұсынады. Көптеген қабаттарға кесілетін CAD үш өлшемді қатты денелі моделімен лазерлік балқыту технологиясының интеграциясы күрделі компоненттерді аралық кезеңдерсіз дайындау мүмкіндігін қамтамасыз етеді.

Лазермен қаптау технологиясын дамыту қолданылатын технологияларды жетілдіруге байланысты. Қолданыстағы технологиялар мен процесс сапасы арасындағы өзара байланысты түсіну лазерлік қаптаманы дамыту үшін маңызды қадам болып табылады. Дегенмен, лазерлік қаптамада қолданылатын технологиялардың көптеген өзара әрекеттестігі процестің күрделілігін арттырып қана қоймай, технологиялық параметрлердің санын көбейтеді.

Әдебиетке шолу кезінде лазерлі қаптау технологиясына оның әртараптандырылған қосымшаларына негізделген көптеген атаулар берілгенін көрсетеді. Мысалы, «лазерлік қаптау» басқа, зерттеушілер «лазерлі жабынды»

[1, 2], «лазерлі ұнтақты тозаңдату» [3, 4] немесе «лазерлі балқыту» [5, 6, 7] деген терминдерді қолданады. Жылдам прототиптеу немесе қабатты өндіріс кезінде көптеген атаулар қолданылды. Алдын ала орналастырылған ұнтақты лазерлі балқыту әдісімен прототиптеу кезінде технология «металды ұнтақтарды селективті лазерлі жентектеу» (SLSM) [8, 9] немесе «металдарды тікелей лазерлі жентектеу» деп аталады [10]. Ұнтақты материалдарды лазерлік балқыту технологиясының процесінде, төменде сипатталғандай атаулардың сан алуан түрлі қолданылған.

- Sandia ұлттық зертханаларында жылдам прототиптеу процесі жасалды, оны «Лазерлік инженерлік желіні қалыптастыру» Laser Engineered Net Shaping (LENS R) деп атайды [11, 12, 13].
- Мичиган университетінде әзірленген процесс «металдарды тікелей тұндыру» (DMDTM) деп аталды. Бұл процесс лазерлік балқыту, CAD/CAM жүйесі, көру және басқару жүйесін қамтиды [14, 15]. Роллдағы Миссури университеті осы процесс үшін бірдей атауды пайдаланады [16, 17].
- Канада Ұлттық зерттеу кеңесінің (NRC) біріктірілген өндірістік технологиялар институты (IMTI) осы процесс үшін "лазерлік шоғырландыру" терминін қолданады [19, 20, 21, 22].
- «Лазерлік ұнтақты синтез» (LPF) терминалын турбиналық күрекшелерін жөндеумен айналысатын кейбір салалар қолданады [23].
- Миссури штатындағы Ролладағы және Швейцария Федералды Технологиялық Институтындағы Лазерлі өндіріс процестері зертханасында бұл процесс «металдарды қысыммен лазерлік өңдеу» (LMF) деп аталады [24, 25].
- «Бағытталған жарық өндірісі» (DLF) - бұл Лос Аламос ұлттық зертханасында пайдаланылатын атау, онда еркін қалыптастыру және прототиптеу процесі жасалды [26, 27, 28].
- «Лазерлік ұнтақты тозаңдату» (LPD) Қытай мен Англиядағы бірнеше зерттеу топтары қолданды [29, 30].
- Ватерлоо университетінде жабу және прототиптеу үшін автоматтандырылған лазерлік қаптау технологиясы әзірленді, ол «лазерлік ұнтақтардың автоматтандырылған тұнбасы» (ALPD) деп аталады [31].
- «Лазерлік жылдам қалыптастыру» (LRF) - Шанхай Цзяотун университетіндегі зерттеу тобы пайдаланған атау [33]. Бұл атауды лазерге

негізделген басқа технологиямен шатастыруға болады, оны лазерлік жылдам қалыптастыру деп те атайды.

Атаулардың әртүрлілігіне қарамастан, іс жүзінде барлық терминдер бірнеше жалпы белгілерді бөлетін технологияны сипаттайды.

1.1 Laser cladding/Лазерлік балқыту

Лазерлік балқыту дәнекерлеу және плазмалық тозаңдату сияқты дәстүрлі процестерімен салыстырғанда көптеген артықшылықтар береді. Лазерлік балқыту әдісі анағұрлым ерітіндімен, және бетінің сапасын жақсарта отырып, әлдеқайда жақсы бұйым алуға мүмкіндік береді. Сондай-ақ, бұл әдісті жылдам прототиптеу әдісі ретінде пайдаланудың бірқатар артықшылықтары бар. Жылдам прототиптеу механикалық компонентті қабаттап алу үшін пайдаланылуы мүмкін, бұл тегіс құрылым, жақсартылған механикалық қасиеттер және күрделі геометрияның бір кезеңді өндірісі сияқты лазерлік прототиптеу үшін бірегей болуы мүмкін ерекшеліктері бар бөлшектерді жасауға мүмкіндік береді.

Осы технологияны пайдалана отырып жасалған бөлшектер таза пішінге жақын, бірақ көбінесе түпкілікті өңдеуді қажет етеді. Олар сондай-ақ жақсы бұйымның құрылымына ие және одан да жақсы қасиеттері бар. Алдын ала орналастырылған және ұнтаққа арналған лазерлік қабықтың екеуі де осы сипаттамаларды қамтамасыз етеді; алайда, лазерлік қаптамада ұнтақты бүрку алдын-ала орналастырылғаннан гөрі аз шектеулерге ие, оған екінші рет ұнтақты ламинаттау әрекеті қажет емес және оны бөлшектерді жөндеуге, сондай-ақ дайындауға да қолдануға болады. Аддитивті технологияның арқасында лазерлік балқыту арқылы металдан бұйым дайындаудың қазіргі технологияларын шектеуді еңсеру үшін құралдарға және озық өндірістерге әртүрлі тәсілдермен қолданылады. Нәтижесінде келесідей бірқатар артықшылықтарға әкеледі:

1. Өндіріс уақытын қысқарту: Прототип жасау үшін қажетті уақыт ұзақтығы жаңа өнімді әзірлеуде қиындық тудырады. Көптеген жағдайларда прототип пен өндірістік жабдық талап етіледі, сондықтан прототип пен қажетті жарақты дайындау мерзімі бірнеше айды құрауы мүмкін. Лазерлік балқыту процесі бұл уақытты тікелей CAD қатты моделінен құрастыру құралдары мен негізгі прототиптер арқылы қысқарта алады [14].

2. Жылу бақылауын жетілдіру: Лазермен балқыту процесі лазер сәулесінің сипатына байланысты жақсы бақыланатын термиялық өңдеу аймағын қамтамасыз етеді. Жоғары қуатты лазер сәулесі жақсы шектелген және

кернеулі, соның нәтижесінде процесте болып жатқан жылдам қыздыру және салқындату негізгі материалға жылудың негізіне аз әсер етеді. Сондықтан негізгі материалдың бастапқы қасиеттері шектеулі мөлшерде ғана әсер етеді. Сонымен қатар, осы жылу аймағын процесс кезінде бақылауға және оңтайландыруға болады, бұл өндірілетін құралдардың сапасын едәуір жақсарты алады. Лазерлік балқыту сонымен қатар, микроқұрылымдар мен механикалық қасиеттерді қалыптастырудағы негізгі параметр болып табылатын қатаю жылдамдығын бақылау үшін, қажетті құралдың үстінен басқарылатын энергияны ұсынады [35].

3. Бөлшектерді жөндеу: Құралды жөндеудің қазіргі заманғы технологиясы жойғыш Жоғары температуралы дәнекерлеу процестеріне негізделген. Сонымен қатар, өндеу кателіктері немесе соңғы техникалық өзгерістер құралды уақтылы жеткізуге және жаңа өнімді енгізуге әсер етуі мүмкін.

Лазерлік балқыту технологиясын жабдықты жөндеу үшін қауіпсіз технология ретінде қолданылуы мүмкін, әсіресе қиын жанасатын беттерде. Лазермен балқыту құралдың қызмет ету мерзімін ұзартады және көптеген жағдайларда жоғары дәрежелі құралды үнемдеуге мүмкіндік береді [20, 36].

4. Функционалды тегістелген бөліктің өндірісі: Қарапайым металл дайындау кезінде материалдардың әр түрлі қабаттарынан бөлшектер жасау қиынға соғады. Лазерлік балқыту бөлшектерді дайындау процесінде әртүрлі материалдарды енгізу арқылы функционалды түрде бөлшектер шығару әдісін ұсынады. Сонымен қатар лазерлік балқыту технологиясының айналасындағы әртүрлі саңылаулар арқылы әртүрлі ұнтақтарды құю арқылы қажетті қорытпаларды шығаруға болады [37, 38].

5. Ақылды құрылым өндірісі: Металл бұйымдарын жасаудың әдеттегі әдістері кезінде дайындау ерекшеліктеріне байланысты құралдарды құралға енгізу мүмкін емес. Лазерлік балқыту өзінің аддитивті сипатына ие, құрастыру кезінде сенсорлар мен магниттер сияқты объектілерді ендіру арқылы «ақылды құрылымды» құруға мүмкіндік береді. Бұл объектілерді температура мен қоршаған орта жағдайларына байланысты зақымдану немесе бұзылу ықтималдығын азайтады [39]. Оның айқын артықшылықтарына қарамастан, лазерлік балқыту әлі күнге дейін металл жабынында немесе прототиптеуде кең қолданылмайды.

Лазерлік балқыту технологиясы дәстүрлі өндіріс технологияларымен салыстырғанда бірқатар артықшылықтарды болғанымен, бұл процесс кейбір кемшіліктерге ие. Процестің бұзылуына байланысты бұйым сапасы

айтарлықтай өзгеруі мүмкін. Сапаның ауытқуы тіпті бірдей жұмыс жағдайында орындалған өңдеу циклдерінің арасында байқалуы мүмкін.

1.2 Laser Cladding лазерлік балқыту тарихы

Алғашқы жұмыс істейтін лазер Майманның[40] өнертабысы 1960 жылдары ғылымда серпіліс болды. Осы өнертабыстан кейін ғалымдар лазердің сол жылдары белгілі болмаған көптеген ғылыми мәселелердің жауабы болды деп мәлімдеді. Бұл мәселелер көптеген салаларда пайда болды, нәтижесінде лазерлердің ерекше белгілерімен проблемаларды шешетін көптеген технологиялар пайда болды. Лазерлер технологиясын қолданудың бір бағыты материалды өңдеу болды, ол 1970 жылдары қарқынды дамып, коммерциялық лазерлердің тиімділігі мен қуаты жоғарылаған кезде пайда болды. 1975 жылы жоғары қуатты газ лазерлерінің (мысалы, CO₂ лазерлерінің) дамуы лазерлік дәнекерлеу, кесу және металды беріктендіруге мүмкіндік берді. Лазерлік материалдарды өңдеу технологияларының ішінде, лазерлік қабықшаны Гнанамутху 1970 жылдың аяғында Калифорнияның мыңдаған еменінде Rockwell халықаралық корпорациясында қолданған [41]. Металл дайындамаларына керамикалық қаптаманы тығыздау кезінде процестің орындылығын зерттеу үшін алдын-ала орналастырылған лазерлік қаптама әдісі қолданылды. Шамамен сол уақытта бүкіл әлемдегі бірнеше зерттеу топтары процесті жетілдіру үшін аппараттар мен жүйелерді құру бойынша жобаларды бастады.

Осы топтардың арасында алдымен Уильям М.Стиннің Англиядағы Лондон университетінің Императорлық колледжінде, содан кейін 1988 жылы сәуірде көшіп келген Ливерпуль университетінде өткізген жобасы лазерлік балқыту Laser Cladding технологиясының дамуына үлкен әсер етті [6, 42].

Ол Виджитой Веерасингхемен бірге ұнтақты бүрку әдісімен лазерлік балқытуды ғылыми айналымға енгізді және әзірленген процесті бағалау бойынша бірқатар жобаларды өткізді[43, 44, 45, 46]. Джоти Мазумдер басқарған тағы бір зерттеу тобы, АҚШ-тағы Урбана-Шампейнтегі Иллинойс университетінде 1980 жылы осы салада көптеген іргелі қағидаттарды ұсынды.

Мазумдер тобы бұл процесстің модельдерін жасап қана қоймай, процестің механизмін зерттеді [47, 48, 49], сонымен қатар олардың метаболизм мен керамикаға икемділігін, сонымен қатар тозуға және коррозияға төзімділігін зерттеу үшін технологияны қолданды [50, 48, 49]. , 51, 52, 53, 54]. Әдебиетке шолу көрсеткендей, осы технологиямен байланысты жұмыстар мен патенттер саны 1980 жылдары айтарлықтай өсті.

Бұл жұмыста технологияны жетілдіруге арналған құрылғыларды, мысалы, ұнтақтағыштарды, салқындату жүйелерін, шағылысқан жарықты қайта сіңіретін жарты шар тәрізді шағылыстырғышты және т.б. ұсынады [55]. Тозуға төзімді және коррозияға төзімді қорытпаларға арналған технологияны қолдану туралы 1980 жылдары көптеген зерттеу топтары мәлімдеді [56, 57].

Бұл технологияның ерекшелігі 1980 жылдары да өнеркәсіптің назарын аударды. Лазерлік балқыту дәстүрлі тозуға төзімді және коррозияға төзімді бұйымдарды алу процестерінен салыстырғанда айтарлықтай артықшылығы бар процесс ретінде анықталды. Өнеркәсіптің түрлі салаларында жүргізілетін зерттеу жобалары академиялық жобалардан озды. 1981 жылы Rolls Royce-дағы РБ-211 реактивті қозғалтқышына Nimonic-лық турбиналы қалақты интербелмелі қаптаманың лазермен балқытуды өнеркәсіптің алғашқы қолдануы болды. 1983 жылы JT8 және JT9 қозғалтқыштарының никель негізіндегі қорытпадан жасалған турбинаның Праттасы мен Уитняларында алдын ала орнатылған лазерлі балқытуды қолдану арқылы қатты қапталды. Турбинаның қалақша қаптамасының ұштары мен саптамаларын лазерлік балқыту, және әр түрлі компаниялардың қолдауына ие болды. Технологияны General Electric, Pratt & Whitney, Allied Signal, Rolls-Royce, Allison, Solar және MTU сияқты жетекші қозғалтқыш өндірушілер қабылдады. Коммерцияландыру тұрғысынан 1980 жылы Солтүстік Америкада және Еуропада металл жабыны мен жөндеудің өнеркәсіп қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін Avco Everett Metalworking Lasers Inc. және United Technologies Industrial Lasers Inc. сияқты бірнеше компаниялар құрылды. Автокөлік өнеркәсібінде Fiat [58], Toyota [60] және Mercedes Benz сияқты кейбір еуропалық және азиялық автомобиль компаниялары қозғалтқыш клапандарын отырғызу үшін нарыққа көшті.

Лазерлі балқытудың икемділігі өнеркәсіптің көптеген салалары мен зерттеу топтарымен таныла бастайды. Бұл технологияның әлеуеті зор, өйткені зерттеу топтары зерттеу бағдарламалары және студенттерді лазерлік балқыту технологияларына оқыту арқылы оның дамуына өз үлесін қосуды жалғастыруда.

1.2.1 Қаптау

Қаптау немесе материалдың жұқа қабатын (мысалы, металдар мен керамика) таңдалған материалдың бетіне түсіреді. Бұл шөгіндінің үстіңгі қасиеттерін шөгінді материалдың қасиеттеріне өзгертеді. Төсеніш тек төсеніш материалын пайдалану есебінен қол жеткізілмейтін қасиеттерді көрсететін композициялық материал болып табылады. Бұл қаптауы берік, коррозияға

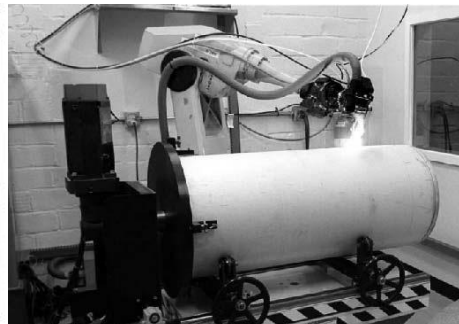
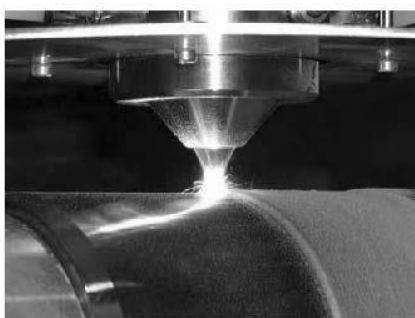
төзімді қабат береді, ал негізгі материал жүктеме қабілетін қамтамасыз етеді. Металлмен қаптау процесінде хром, титан, никель, мыс, кадмий сияқты бірнеше түрлі металдарды қолдануға болады. Қаптаудың көптеген әдістері бар. Алайда, ең жақсысын таңдау көптеген өлшемдерге, мысалы, төсеніштің металлургиясына, қаптау материалының белгіленген техникаға бейімделуіне, қажетті адгезия деңгейіне және жабдықтың қол жетімділігі мен құны сияқты көптеген параметрлерге байланысты. Лазермен балқытудың әр түрлі өнеркәсіптік бөлімшелерде металл жабындары үшін қолдану мүмкіндігіне ие болғанымен, оны металлды қаптауға қолдану қымбаттығына және процестің төмен жылдамдығына байланысты шектелген. Дегенмен, лазер тиімділігін жақсарту, лазерлер құнын азайту және осындай қуатты диод және талшықты лазерлер сияқты жаңа түрлі лазерлерінің дамуы, өнеркәсіптің бірнеше ірі салаларында лазерлік қаптаманы кеңінен пайдалану мүмкіндігі бар. Лазерлік балқытудың тағы бір көрсеткіші-соңғы жылдары осы технологияға қатысты жарияланған жұмыстар мен есептердің санын арттыру. Compendex іздеу жүйесінің ақпаратына негізделі отырып, түрлі материалдарды жабу үшін лазерлік балқытуды қолдануға арналған мақалалар саны 1990-ші жылдардағы 620 мақаладан 2000-2004 жылдар аралығында 750-ден астам мақалаға дейін өсті. Лазерлі балқыту әдісімен байланысты жарияланған **жұмыстардың көпшілігі аэроғарыштық, медициналық және автомобиль өнеркәсібінде** бірнеше негізгі материалдарды пайдалануға арналған.

Титан негізіндегі қорытпалар[69, 70, 71, 72], никель негізіндегі ыстыққа төзімді қорытпалар[73, 74, 75, 76, 77, 78], кобальт негізіндегі қорытпалар [79, 80, 81] мен легирленбеген болат, шындалған болат, тот баспайтын болат, алюминий қорытпалары, никель немесе кобальт негізіндегі шойын және т.б. қорытпалар сияқты әртүрлі төсемелерге шөгілетін маңызды қорытпалардың бірі болып табылады. Мичиган штатындағы POM Inc. компаниясы тозуға төзімді және жоғары температуралы материалдарды (мысалы, кобальтқа негізделген спутниктік және никель негізіндегі қорытпалар) жоғары температура, термиялық соққыға ұшырайтын қоршаған орта жағдайларына ұшырайтын, олардың өмірін жақсарту үшін құрал-сайман беттеріне орналастырды. [82]. Соңғы уақытта титан қорытпаларының биокермикалық қаптауды лазерлік балқыту әдісімен орындалуда; жабылған бөлшектер кейіннен имплантатты денеге енгізген кезде сүйектің өсуін ынталандыру үшін кальцийфосфатты қабаты бар ортопедиялық имплантаттарда қолданылады[83]. Лазерлік балқыту басқа да лазерлік өңдеу әдістерімен қатар, тозуға және коррозияға төзімділікті қамтамасыз ететін шыны тәрізді металл қабаттарды алу үшін зерттелді [84]. Лазерлік балқыту үшін металл жабындарының ең жетекші

нарығы коммерциялық ұшақтардың газ турбиналарын жабу болып табылады. Коммерциялық ұшақтардың газтурбиналық қозғалтқыштарының секцияларында пайдаланылатын жабындар үшін бірегей жабдықты (ОЕМ) өндірушілердің әлемдік нарығы Gorham technologies компаниясы жариялаған ақпаратқа негізделі отырып, жылына шамамен \$ 460 млн бағаланады. Соңғы уақытта бұл секторда көрсетілген материалдарды ғарыш аппараттарының құрауыштарына салу үшін лазерлік балқыту қолданылады. Лазерлердің соңғы технологиялық жетілдірулермен лазерлік балқыту технологиясы осы нарықта аса маңызды рөл атқарады деп күтілуде.

Бұдан басқа, лазерлік балқыту абразивті, эрозиялық және адгезиялық тозуға; ылғалды коррозияға; сондай-ақ жоғары температуралы тотығу мен коррозияға төзімді беттерді алу үшін өнеркәсіптік бөлшектерге қабаттау үшін бірнеше басқа да қолдану түрлері бар. Лазерлік балқыту арқылы металл қабатын алған кейбір өнімдер:

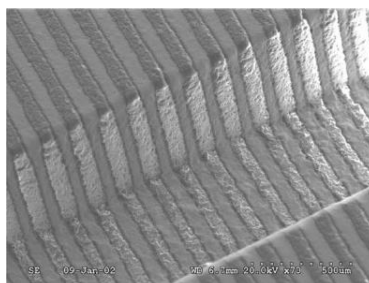
- Бұрғылау құралдарында қолданылатын біліктер
- Қозғалтқыш клапанының ершігі
- Құрал-саймандар
- Гидравликалық сорғының компоненттері
- Қалыптар



1-сурет - лазерлі балқытумен қаптау (Фраунхофер материалды-сәулелік технология институты, Германия [85]).

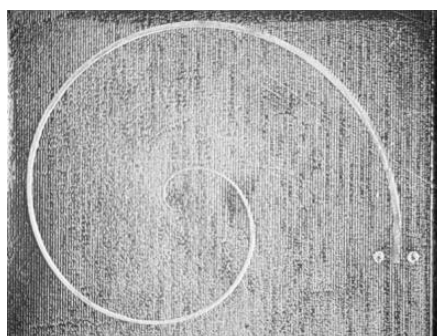
1.1-суретте мұнай бұрғылау құралдарын лазермен қаптауды қолданудың бір түрі көрсетілген, олар пайдалану кезінде айтарлықтай тозуға ұшырайды [85]. Болашақтағы лазерлік балқыту технологиясының маңыздылығын атап кетейк. Соңғы жылдары микро- және нанотехнологияларға үлкен көңіл бөлінуде. Ғалымдардың айтуы бойынша кез-келген технологияны микро және нанотехнологияда қолдануға болады, егер оны дұрыс түрде миниатюризациялауға мүмкін болса. Дегенмен, лазерлік балқыту осы озық технологияларға пайда әкелу үшін үлкен әлеуетке ие [94, 95], өйткені лазерлік балқыту микроқұрылымдарды жасау үшін революциялық техниканы қамтамасыз ете алады. Соңғы жылдары АҚШ-тағы Optomec Inc. компаниясы

M3D деп аталатын процесті ойлап тапты, ол 10-нан 50 мкм-ге дейінгі диапазонда әртүрлі төсеніштерді жабуға мүмкіндік береді. Олардың жұмыс тұжырымдамасы лазерлік балқытудың алдын ала орналастырылған процесіне негізделген; алайда Optomec Inc.s технологиясы металдармен немесе органикалық элементтермен аралас сұйық тамшылардың шашырауын пайдаланады.



1.2-сурет- M3D 500 мкм-ден асатын ені 50 мкм күміс сызықтар (Optomec Inc., АҚШ).

Содан кейін лазер металды бөлшектерді шайып тастау үшін термиялық өңдеуді жүргізеді. 1.2 және 1.3 суреттерінде Optomec Inc технологиясының көмегімен жасалған екі үлгі көрсетілген.



1.3-сурет- M3D технологиясы бойынша түсірілген спиральды GPS антеннасы (Optomec Inc., АҚШ).

1.2-суретте ені 50 мкм болатын күміс сызықтар микро-айнаның 500 мкм қадамынан асады. 1.3 суретте спиральды GPS спутниктік антенна көрсетілген.

2 Анықтамалық ақпарат және негізгі мәліметтер

Бұл тарауда лазерлік балқыту негізгі шолу ұсынылған. Лазерлік балқыту классификациясы, лазерлік балқыту процесінің параметрлері және бәсекеге қабілетті әдістермен лазерлік балқыту процесін салыстыру болып табылады.

2.1 Материалдарды өңдеудің лазерлік әдістері

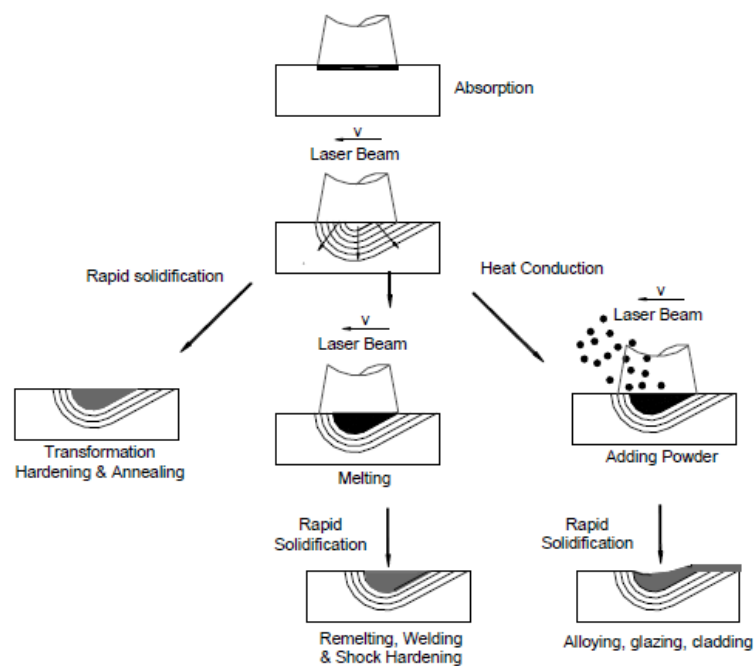
Лазер сәулесі материалдарды өңдеу үшін бірегей сипаттамаларды қамтамасыз етеді.

Лазерлік сәуленің электромагниттік сәулеленуі ол мөлдір емес материалдардың (мысалы, металдар) бетіне сіңеді яғни орнығады. Лазер мен материалдың өзара әрекеттесу уақыты 2-суретте көрсетілгендей әр түрлі процестерге әкеледі. Лазерлік сәуленің салыстырмалы жылдамдығы төсеніштің беттік қабаттына жылу циклын тудырады. Сондай-ақ, суретте әртүрлі лазерлік материалдық процестер кезінде пайда болатын физикалық құбылыстардың схемалық көрінісін көрсетілген. Бұл процестер сіңірудің, жылу өткізудің, балқудың, ұнтақты қосудың және тез қатаюдың әртүрлі комбинацияларына байланысты. Алайда, материалды өңдеудің барлық әдістерінің ортақ физикалық құбылысы тез және қатты металлургиялық құрылымды тудыратын тез қатаю болып табылады. Лазерлік балқыту лазерлік сәуле ұнтақтың бөлшектерін және позициялаушы құрылғымен жылжитын төсеніш бетін сәулелендіретін материалдарды лазерлік өңдеудің маңызды түрлерінің бірі болып табылады.

Қоспалы ұнтақ бөлшектері нәтижесінде «қабат» деп аталатын жұқа қабат пайда болады.

2.2 Лазерлік балқыту, легирлеу және шынылау арасындағы айырмашылықтар

Балқытылған бастиегіне ұнтақ қосу материалдың түріне және мөлшеріне байланысты үш түрлі өнім жасай алады. - 2.1-суретте осы үш процесс үшін төсеніш-төсем буы сұлбалы көлденең қималар көрсетілген.

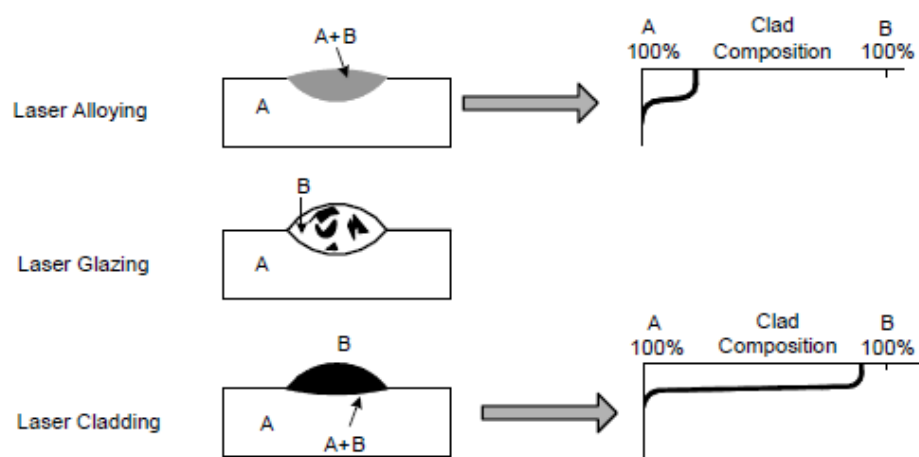


2-сурет- Лазерлік материалдарды өңдеудің әртүрлі әдістері кезіндегі физикалық құбылыстардың схемасы.

Олар лазерлік қабаттар, жылтыратқыш және легирленген деп жіктеледі. Оң жақта - қаптау бойынша композициялық профильдің сызбасы.

Лазерлік қорытуда ерітінді бассейніне аз мөлшерде ұнтақ құйылады. Осылайша, балқытылған аймақта біртекті араластыруды алуға болады [96]. Лазерлік балқыту/ Laser cladding лазерлік легирленуге ұқсайды, тек төсенішпен сұйылту минимумға дейін және материалды бетке көбірек қосу талап етіледі [35]. Лазермен жылтырату кезінде тозуға және коррозияға қатысты экологиялық тұрғыдан тиімді бетті қамтамасыз ету үшін металл әйнек жабыны қойылады. Лазерлік әйнектің негізгі артықшылығы оның құрамын өзгертпестен микро құрылымдарды өзгертеді [97, 98]. Лазермен қаптауды басқа беттік материалдарды өңдеумен салыстырғанда келесі артықшылықтарды алуға болады [99, 100, 101]:

1. Төмендетілген сұйылту, бұл жабық аймаққа араласу пайызы (лазерлік қорытумен салыстырғанда)
2. Бөлшектің тозуға төзімділігі
3. Жылулық бұрмалануды азайту
4. Кеуектіліктің төмендеуі, әсіресе ұнтақты енгізу арқылы лазерлік қаптамада
5. Процесті басқарудың жақсаруы
6. Балқытудан кейін өңдеу уақыты мен құнын қысқарту



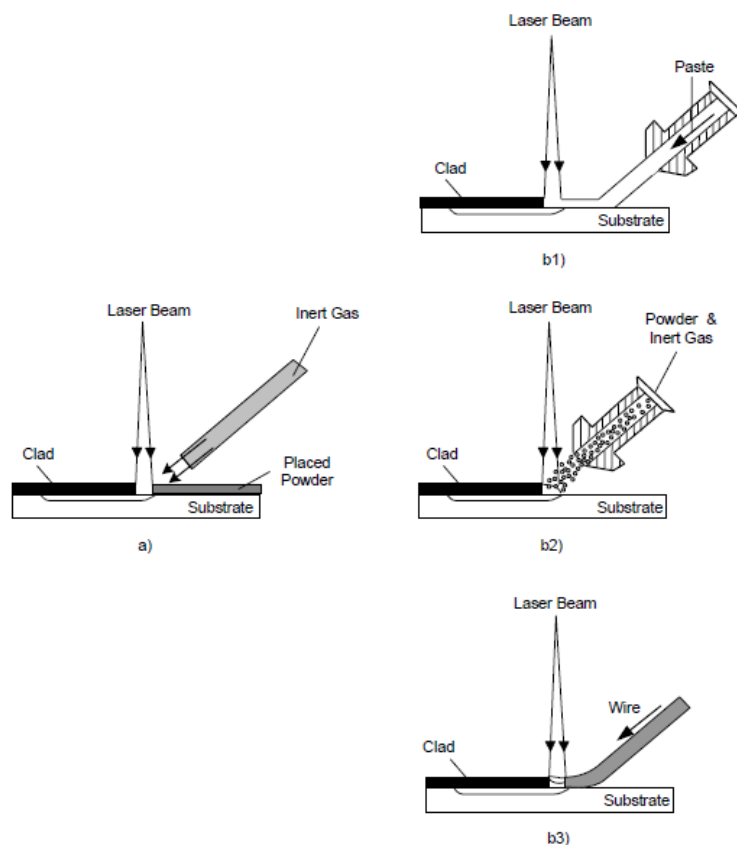
2.1-сурет- Лазерлік легирлеудің, және балқытудың түрлі микроқұрылымдары.

2.3 Түрлі лазерлік балқыту/ Laser cladding әдістері

Негізінде, екі түрлі лазерлік балқыту әдісі бар:

1. Екі сатылы процесс (алдын ала орналастырылған лазерлік балқыту)
2. Бір сатылы процесс

Екі сатылы үдерісте бірінші саты лазерлік сәулеленудің алдында орналастырылатын жабын материалының қабатынан тұрады. Содан кейін ол екінші сатыда лазерлік сәулемен төселген материалмен бірге балқытылады (сурет.2.3 а) [102]. Бір сатылы процесте қосымша материал балқытылған бассейнге құйылады. Қосымша материал келесі түрде болуы мүмкін:



2.2-сурет- Лазермен қаптаудың әртүрлі әдістері: а) екі сатылы лазерлік қаптау, б) бір сатылы лазерлі қаптау, оның ішінде b1: пастерлі лазерлі қаптама, b2: ұнтақ бүрку лазерлі қабық, b3: сыммен қоректенетін лазерлік қаптама.

- Ұнтақ бүрку
- Сымдарды беру
- Кірістіру

2.2b-суретте бір сатылы лазермен қаптау әдістері көрсетілген, онда инертті газ жоғары температура беттің тотығуын болдырмас үшін лазерлік материалдың әсер ету аймағын қоршайды.

Ұнтақты бүрку - сым мен паста қаптамасына қарағанда анағұрлым берік әдіс, өйткені балқытылған бассейнмен тікелей байланыс жоқ, ал лазер сәулесі сым немесе паста арқылы кедергі жасамай, ұнтақ бөлшектерінің ағымынан өтуі мүмкін. Келесіде біз екі сатылы лазерлік қаптамамен байланысты бірнеше мәселелерді қысқаша қарастырамыз; содан кейін біз осы тарау мен осы дипломдық жұмыста қалған бөлігі үшін ұнтақты бүрку арқылы лазермен қаптауға назар аударамыз.

2.3.1 Екі сатылы лазерлік қаптама (алдын-ала орналастырылған лазерлік қаптама)

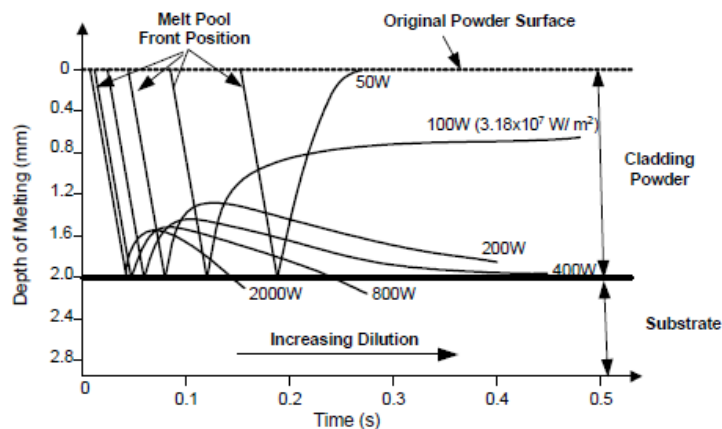
Алдын ала орналастырылған лазерлік қаптау - жабу және прототиптеу үшін қолданылатын қарапайым әдіс. Бұл процеске бірнеше мәселелер қатысты. Алдын ала орналастырылған ұнтақ бөлшектері субстратпен жеткілікті түрде байланысып қана қоймай, сонымен қатар бір-біріне жеткілікті үйлесімділікке ие болуы керек. Процестің екінші сатысында балқу кезінде газ ағынына байланысты субстраттағы ұнтақ бөлшектердің кетуіне жол бермеу керек. Бұл мәселені шешу үшін, ұнтақ, әдетте, химиялық байланыстырғышпен араластырылады, бұл процесс барысында оның субстратпен біртұтастығын қамтамасыз етеді. Химиялық байланыстырғыштың жанама әсері - бұл процесс кезінде булануына байланысты жабылған кеуектілік.

Процестің екінші сатысында келесі құбылыстар пайда болады:

1. Лазерлік сәуле шығару есебінен алдын ала орналастырылған ұнтақтың жоғарғы бетінде балқыту бассейнін құру
2. Жылу өткізгіштігі есебінен төсенішпен бөлу шекарасына дейін балқыту бассейнін кеңейту
3. Жылу төсенішке ену термоядролық байланыс тудырады

Жылу бақылау жоғары сұйылту болдырмау үшін осы әдіс өте маңызды мәселе болып табылады. Сұйылту субстраттың жабылған облыспен араласу пайызы болып саналады. Бұл мәселе екі сатылы лазерлік балқытудың маңызды кемшіліктерінің бірі болып табылады, ол әдетте процесті тек бір желілі балқытумен шектейді.

Пауэлл және т. б. алдын ала орналастырылған лазерлік балқытуды талдаудың теориялық үлгісі мен әдістемесін әзірледі. Олардың теориялық есебі өзара әрекеттесу уақытының Балқыма бассейнінің фронтының жағдайына әсерін көрсететін графикті құруға әкелді. Бұл нәтиже 2.3 суретте көрсетілген. Алынған нәтижелер сұйылту өзара әрекеттесу уақытының ұлғаюымен (процесс жылдамдығының азаюымен) ұлғаюын куәландырады.



2.3-сурет- Сәуленің радиусы 1 мм болғанда әр түрлі орташа лазерлік қуаттағы ерітілген алдыңғы бөліктің өзара әрекеттесу уақытына қатысты орналасуы.

2.3.2 Лазерлі сыммен қоректендіру

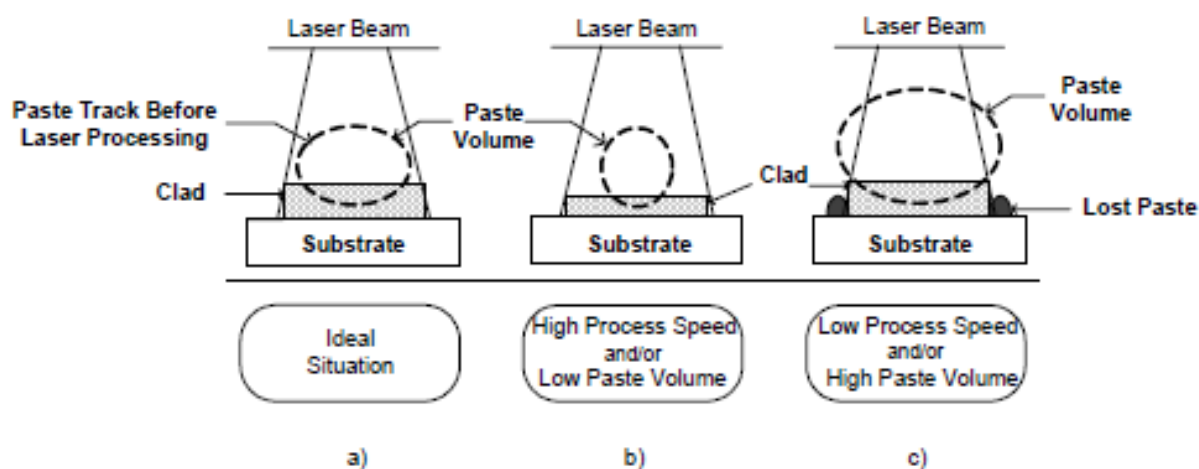
Сым беру арқылы лазерлік балқыту негізгі - 2.2b суретте көрсетілгендей ұнтақ орнына сымды пайдалануы. Сым әдетте керамикалық барабан арқылы беріледі, олны кез келген материал бола алады.

Беріліс механизмдерінің табиғатына байланысты дірілсіз тұрақты тасымалдауды қамтамасыз ету үшін пластикалық деформациясыз түзетілген және сақталған сымды пайдалану қажет [103, 104]. Ұнтақты бүрку әдісімен лазерлік балқытумен салыстырғанда, сымды беру әдісімен лазерлік балқытудың кейбір ерекше артықшылықтары бар деп мәлімдеді [105]. Оның ең маңызды артықшылықтарының бірі қаптау жағдайына бейімдеу болып табылады. Металл сымдар металл ұнтақтардан арзан, сондай-ақ сымның қалдықтары ұнтақты беру қарағанда аз материал. Бұл айырмашылығы, бетінің төмен сапасы, төмен ілінісу беріктігі, кеуектілік, сызаттар және тамшы тасымалдау сым қабығының кейбір мәселелері болып табылады. Сымның соңында балқытылған сұйықтық тамшыларды тасымалдау феномені деп аталатын дайындамаға баяу және үздіксіз ағады. Ким және т.б. тамшыларды тасымалдау құбылыстарына кедергі келтіретін ең жақсы Технологиялық параметрлерді іздеу мақсатында зерттеулер жүргізді. Олар сымды берудің бағыты мен орнын дұрыс таңдау кезінде сымды беру арқылы лазерлі балқыту үшін балқытылған тамшыны шашырату мәселесін шешуге болатынын көрсетті. Бұл жағдайда сымды бассейнге балқытуға және балқытылған металл жылуының әсерінен балқытуға болады. Алайда, табысты процесс Технологиялық параметрлерге

қатты байланысты және наразылықтар болған кезде қаптаманың сапасы күрт төмендейді.

2.3.3 Құю әдісімен лазерлік қаптау

Материалды лазерлі балқыту кезінде, материал ағыны 2.2b суретте көрсетілгендей лазерлік сәуледен сәл асып түсетін төсеме нүктесіне тұнады [106]. Материал тиісті байланыстырушы затпен балқытылған ұнтақтан тұрады. Алайда, байланыстырушы материал жинақы күйінде әлі сақталғанға дейін қысқа уақыт аралығында кептірілуі тиіс; әйтпесе ұнтақ бөлшектері қорғаныс газымен үрленеді.



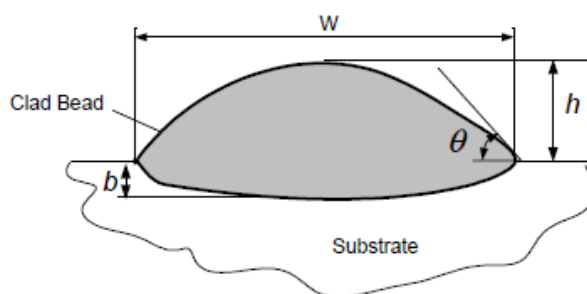
2.4-сурет- Технологиялық үрдістің жылдамдығы мен материалдың беру жылдамдығының басылған материалдың сапасына әсері.

Бұл процесс үшін материалды берудің арнайы жүйесі әзірленген. Сонымен қатар, технологиялық аймақтан шыққан жылу тасымалдайтын материалды қорғау үшін салқындату жүйесімен бірге материалды беру жүйесін жасап, енгізді. Төсеніштегі материалдың түрі, материалдың берілу жылдамдығы мен төсеніштің жылдамдығы бақыланады. Жақсы жабысқақ болу үшін бұл параметрлерді оңтайландыру қажет. Материалдың нашар берілуі немесе процестің тым жоғары жылдамдығы, жоғары сұйылту және лазерлік энергия тұрақты болса, бұйымның сапасы төмендетуге алып келеді. Астыңғы материалдың артық болуы пораның түзілуін арттырады, себебі байланыстырғыш булануы тежеледі және бұл Балқыма материалының жоғалуын арттырады. - Сур. 2.4 төсеніштің жылжу жылдамдығының және материалдың беру жылдамдығының соңғы басылған қабаттың сапасына әсері көрсетілген. Жоғары кеуектілік, қоздырғыштарға және материалды беру

механизміндегі қиындықтарға процестің өте сезімталдығы - бұл материалды лазерлі балқыту жағдайында.

2.4 Өлшемді сипаттамалары

Жалатылған геометриямен 2.5 суретте көрсетілген бірнеше параметрлер байланысты. Бұл суретте h -жабындының биіктігі, w -жабындының ені, θ -сулану бұрышы, ал b -қаптау кезінде балқытылған және жабындының аймағына қосылған төсеніштің қалыңдығын көрсететін жабындының тереңдігі.



2.5-сурет. Кесілген моншақтың әдеттегі қимасы.

2.5 Сұйылту

Қабатталған қабаттың бір қасиеті сұйылту деп аталады. Ерітудің екі анықтамасы бар: геометриялық және металлургиялық [107]. Жұтудың геометриялық анықтамасы 2.5 суретте көрсетілген. Суреттегі көрсетілген параметрлерге сәйкес сұйылту болады

Көп жағдайда полиномдар түрінде таңдалатын базистік функцияларды таңдау, сондықтан шешім ізделетін кеңістік бөлшек-полиномиалдық функциялардың кеңістігі болып табылады.

$$dilution = \frac{b}{h + b} \quad (2.1)$$

Мұнда b -балқыту процесінде балқытылған төсеніштің қалыңдығы [мм], ал h -басылған қабаттың биіктігі [мм].

$$dilution = \frac{\rho_c(X_{c+s} - X_c)}{\rho_s(X_s - X_{c+s}) + \rho_c(X_{c+s} - X_c)} \quad (2.2)$$

Мұндағы ρ_c - балқытылған ұнтақты қорытпаның тығыздығы [кг/м³], ρ_s - субстрат материалының тығыздығы [кг/м³], X_{c+s} - жабысқан аймақтың жалпы бетіндегі X элементтің үлес салмағы [%], X_c - ұнтақ қорытпасындағы X элементтің салмақ пайызы [%], ал X_s - бұл элемент элементінің салмақ пайызы[%]. Лазерлік қуаттың жоғарылауымен сұйылту жоғарылайды, бірақ жүру жылдамдығы жоғарылағанда азаяды.

2.6 Лазерлік қаптама жабдығы

Лазермен қаптау процесі келесі жабдықты қажет етеді: лазер, ұнтақ беру құралы, жеткізу саңылаулары және CAD / CAM бағдарламалық жасақтамасымен жабдықталған қондырғы. Лазермен қаптау процесі сәтті болуы үшін осы құрылғылардың құрылысын және олардың әртүрлі жұмыс жағдайларында жұмыс істеуін түсіну қажет. Бұл тарауда лазерлерді, ұнтақты бергіштер мен саптамаларды лазерлік қаптау технологиясында қолдануға жарамдылығын көрсету үшін жан-жақты салыстыру берілген. Сондай-ақ, тарауда қол жетімді позициялау құрылғылары мен осы процесті жүзеге асыруға жарамды CAD / CAM жүйелеріне қысқаша шолу жасалған.

2.6.1 Лазерлер

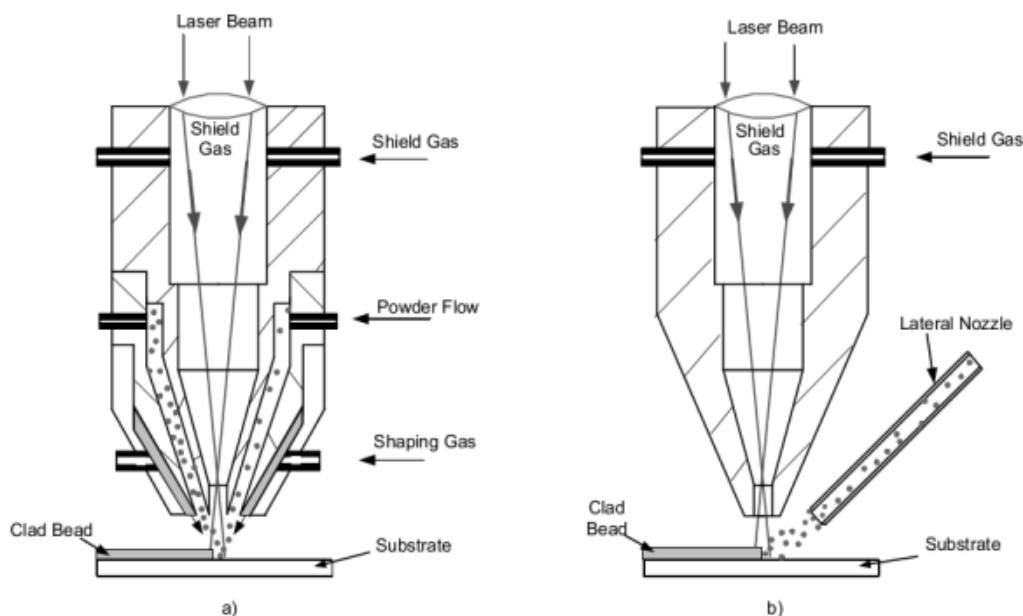
1960 жылдардың басында бірінші жұмыс істейтін лазерді ойлап табумен технологияны дамытуға үлкен үлес қосты. "Лазер" сөзі сәулеленудің ынталандырылған сәулеленуінің есебінен жарықтың күшеюін білдіреді. Миаман Эйнштейннің Елеулі ашылу нәтижесі болған алғашқы лазерін ойлап тапты [115], ол лазерлік әсер болуы мүмкін екенін көрсетті. Бір сатылы лазерлік балқыту процесінде бастапқы материал динамикалық түрде лазерлік көзі шығаратын балқыту бастейегіне беріледі. Лазерлік және беру жүйесін бір мезгілде жылжыту (немесе негізгі материалды ауыстыру нұсқасы ретінде) жабынның пайда болуына алып келеді. Үлкен алаңдар немесе күрделі 3D-құрылымдар қабат жасау үшін бірнеше материалдарды салу және бір-біріне сәйкес жүйелі қабаттарды басу арқылы өңделуі мүмкін. Материалы әдетте ұнтақ түрінде болады, бірақ филамен ретінде материалды беру мүмкін емес.

2.6.2 Ұнтақ беретін бір сатылы лазерлік балқыту процесі

Ұнтақты беру арқылы лазерлік балқыту ұнтақ түрінде қол жетімді материалдар мен қорытпалардың кең спектрінен, сондай-ақ ұнтақ пен лазерлік сәуленің арасындағы байланыстың жақсы тиімділігіне байланысты ең көп таралған бір сатылы әдіс болып табылады [8]. Бұл үрленген ұнтақты лазерлі жабындыда (1.11-сурет) үш негізгі құрамдас бөлік бар: лазерлік жүйе, компьютермен басқарылатын роботтық жүйе және ұнтақты жеткізу жүйесі [62].

Лазерлік жүйенің мақсаты - процесс үшін қажетті энергияны лазер сәулесі арқылы қамтамасыз ету, ең көп таралған фокустау жүйелер дөңгелек, сызықты немесе тікбұрышты сәулелер шығарады. Дөңгелек сәулелер интенсивтілікке ие, бұл қашықтықтың функциясы, ал сызықтық және тікбұрышты сәулелер біркелкі қарқындылыққа ие. Сәуленің пішіні фокустық айна немесе линзаның оптикасымен басқарылады, ал сәуленің ауданын (немесе дақтың өлшемін) фокустау құрылғысы мен компонент беті арасындағы жұмыс қашықтығын өзгерту арқылы өзгертуге болады. Әдетте лазер сәулесі субстрат

бетіне перпендикуляр болады. Әр түрлі конфигурациялар мүмкін, бірақ бұл процестің энергетикалық тиімділігіне әсер етеді, өйткені лазермен сіңіру лазер сәулесі мен балқытылған бастейегінің бетінің арасындағы бұрыштың қызметі болып табылады [62,63].



2.6 -сурет - Коаксиалды шүмегі (а) және бүйірлік шүмегі (Б) бар типтік үрленген ұнтақты лазерлі балқыту жабдығы [11].

Роботталған 3D принтер жүйесі компоненттің және лазерлік сәуленің салыстырмалы жылжуын қамтамасыз етеді. Екі ықтимал конфигурация бар немесе үлгі бекітіледі, және лазерлік бастиегі беру жүйесімен бірге робот иінтірегіннің 3D принтер мен қосылуының арқасында жылжиды; немесе үлгі stable-ге топтастырылған, ол лазерлік ұнтақты беру жүйесіне қатысты қозғалады [62].

Ұнтақты беру жүйесі лазермен жасалатын өзара іс-қимыл аймағына ұнтақтың қажетті мөлшерін жеткізуге қабілетті болуы тиіс. Ұнтақты ауырлық күші немесе газдың қысымды жүйесі арқылы жеткізуге болады. Соңғысына артықшылық беріледі, өйткені ол кез-келген бағытта қаптауға мүмкіндік береді және тотығуға жол бермейді: іс жүзінде тасымалдаушы газбен бірге балқытылған бастиегінде атмосферадан қорғау үшін қапталған аймаққа гелий немесе аргон сияқты қорғаныс газы жеткізіледі.

Процесс лазер сәулесінен басталады, ол ерітінді бассейнін қалыптастыру үшін жұқа қабатты сәулелендіреді. Кейіннен ұнтақ қапталған аймаққа түсіп, балқытылған бассейнге түсіп, ериді. Осыдан кейін лазерлік-ұнтақты жеткізу жүйесі өз жолын жалғастырады: балқытылған бассейн ең қатты жылу градиенті бойымен қатаю процесін бастайды және жабылған күйде қалыптаса бастайды. Жеткізілген ұнтақ жабын аймағына жабысып немесе жабыспайтындығын әсер

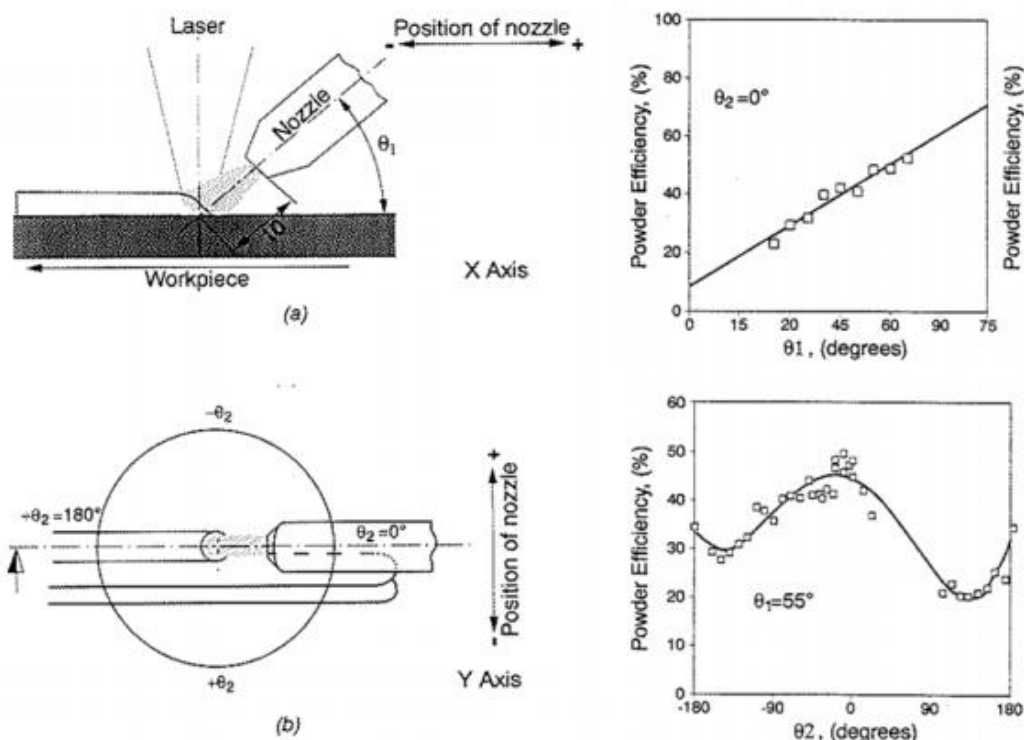
ету түрі анықтайды. Ықтимал әсер ету түрлері төменде келтірілген және лазер энергиясын субстрат пен ұнтақ бөлшектері сіңіруі әсер етеді:

- қатты ұнтақ-қатты беті: ұнтақ, және төсеніш еріп, қатты күйде қалу үшін жеткілікті лазерлік энергияны жұтпайды. Ұнтақ бөлшектері ауытқиды және жоғалады.
- қатты ұнтақ беті: еріту үшін жеткілікті энергияны сіңірмейтін ұнтақ бөлшектері пайда болған балқытылған бассейнмен алынады.
- сұйық ұнтақ - қатты бет: ұнтақ бөлшектері инъекция кезінде ериді және ұнтақты жинауға әкелетін субстраттың қатты бетіне жабысады.
- сұйық ұнтақ - сұйық беті: субстрат та, ұнтақ бөлшегі де жиналып қалуға әкеледі

Жиналу тиімділігі көбінесе балқытылған бассейннің түзілуіне байланысты, бұл енгізілген ұнтақ бөлшектерін жинауға мүмкіндік береді [11,64-66]. Атап айтқанда, материалдың тиімділігі ұнтақ ағынының әсер ету аймағының өлшеміне қатысты ерітінді бассейнінің өлшеміне қатты тәуелді [8,67,68]. Тұтастай алғанда, ұнтақты тасымалдау бір сатылы лазермен қаптау процесінің материалды тиімділігі, әсіресе екі сатылы процесстен гөрі төмен, және бұл техниканың басты кемшілігі болып қала береді. Әдебиетте баяндалған құндылықтар әдетте 40-80% құрайды. Кейбір жұмыстар соңғы қабаттың беткі қабатының қосымша артықшылығын ескере отырып, ұсақ ұнтақ (<53 мкм) [10,69] көмегімен материалдың тиімділігі мен өнімділігін жоғарылату мүмкіндігі туралы хабарлайды. Соған қарамастан, жұқа ұнтақтарды пайдалану жұмыс бөлмесінде булану мен аэрозольдің шығу қаупін арттырады [70,71]; Сонымен қатар, осы технологияның маңызды аспектісі болып табылатын осы ұнтақты инъекцияға ұнтақ агломерациясы және ұнтақ бергіштер мен қапталған саңылаулардағы ұнтақ ағымындағы проблемалар себеп болуы мүмкін.

2.6 суретте көрсетілгендей, ұнтақты үрлеу техникасын сипаттайтын Элемент-бұл ұнтақ беру жүйесі. Ұнтақты беру екі жолмен жүзеге асырылуы мүмкін: осьтен тыс, сондай-ақ бүйірлік және коаксиалды.

Осьтен тыс саптама коаксиалды саптамаға қарағанда ұнтақты жинаудың тиімділігін арттырады. Шұңқырдың геометриясы мен туралануы материалдың тиімділігіне әсер етеді, дейді Марсен [72], ұнтақтың тиімділігі горизонталь мен саптаманың арасындағы жоғары инжекция бұрышын қолдану арқылы одан әрі жоғарылатылуы мүмкін (сурет 2.7).



2.7-сурет- Ұнтақты лазермен қаптау сызбасы (а) көлбеу (1 көлбеу қима және оның ұнтақ тиімділігіне әсері және (b) θ_2 бағытымен жабылған бетінің жоспарлық көрінісі және оның ұнтақ тиімділігіне әсері [67].

Бүйірлік шүмектің орналасуын өзгерту мүмкіндігі ұнтақ ағынын балқыту бассейнінің қажетті бөлігіне бағыттауға мүмкіндік береді. Сондықтан ұнтақ бөлшектері мен лазер сәулесі арасындағы өзара әрекеттесу уақытын ұнтақтың тиісті қызуын қамтамасыз ету үшін немесе сырттан қатты нығайтылған жағдайда, олардың еруін болдырмау үшін бақылауға болады. Осымен тыс беру жүйесінің негізгі кемшіліктері процестің төмен ұдайы өндірілуі болып табылады, өйткені сопла орналасуында аздаған өзгерістер қабық геометриясының, сұйылту мен ұнтақтың тиімділігінің, сондай-ақ процестің балқыту бағытына тәуелділігінің айтарлықтай өзгеруіне әкеледі.

Ұнтақты коаксиалды беру процесінде лазер сәулесін қоршайтын конус тәрізді ұнтақ саптамасы арқылы енгізіледі (сурет 2.7). Мұндай конфигурация жүйеге қаптау бағытына тәуелсіз болуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, ұнтақтың шоғырмен өзара әрекеттесу уақыты жеткілікті үлкен (осымен тыс қабыққа қарағанда көп), бұл олардың қозғалысы кезінде ұнтақ бөлшектерінің неғұрлым тиімді алдын ала қызуына әкеледі. Сондықтан да, бұл үрдістің энергетикалық тиімділігі коаксиалды процесте ұзақ уақыт бойы өзара іс-қимыл және ұнтақ бұлтта пайда болатын бірнеше рет шағылысу салдарынан жоғары болады деп күтілуде[8].

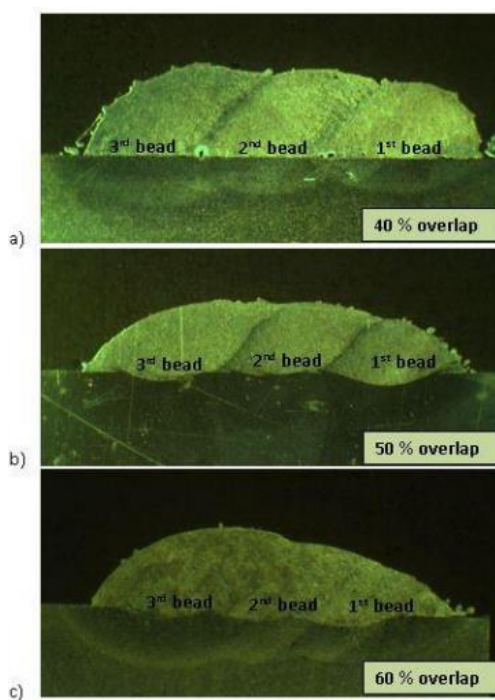
3 Қабаттарды басу эксперимент (40%, 50% және 60% процентерінде толтыру)

Қабаттарды басумен қатар жүретін бір қабат әдетте, қалыптау жұмыстарында қолданылады, ал бір-біріне қабаттасқан қабаттар металдың металлургиялық қасиеттерін жақсарту үшін металл бетін жабу үшін қолданылады. Қабаттап басудың эксперименті 40%, 50% және 60% толтыруымен үш қабатты қабаттастыру жоспарлануда, бірақ уақыт пен шығынға байланысты екі рет қайталаңады. Қабаттасу конфигурациясына сынама дайындау әдісі 54 эксперимент үшін сипатталғандай бірдей әдіс пен технологиялық параметрлерге сәйкес қолданылды.

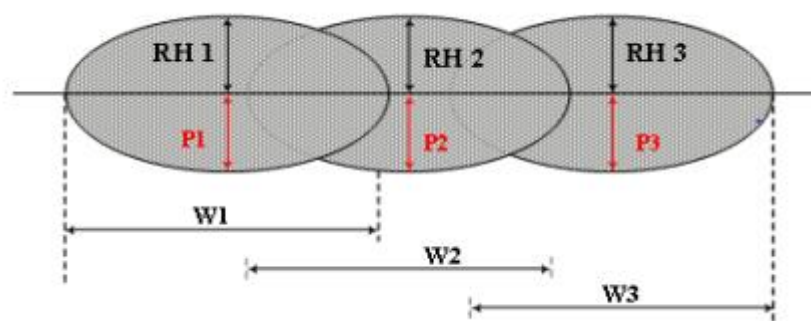
Конфигурацияның 50% қабаттасуының матрицасы С қосымшасында көрсетілген. 3-суретте әртүрлі қабаттармен әртүрлі пайыздарымен 3 бұйымның қалыптасуының көлденең қималары көрсетілген. Бір-біріне жабысатын қабаттардың геометриялық пішінін 3 суретте көрсетілген.

Үлгілер дайындалғаннан кейін, қабаттардың геометриялық өлшемдерін анықтау үшін оптикалық микроскоппен талдау жүргізілді.

Микроскоппен қабаттың өлшемі мен профиліне байланысты пішін параметрлерін алу үшін белгілі бір ұлғайту орнатылады және олар төменде қысқаша сипатталған:



3-сурет- Үш эксперименттің секциялық түрлері а) 40% пайызды Б) 50%пайызды және в) 60% пайызды қабаттар



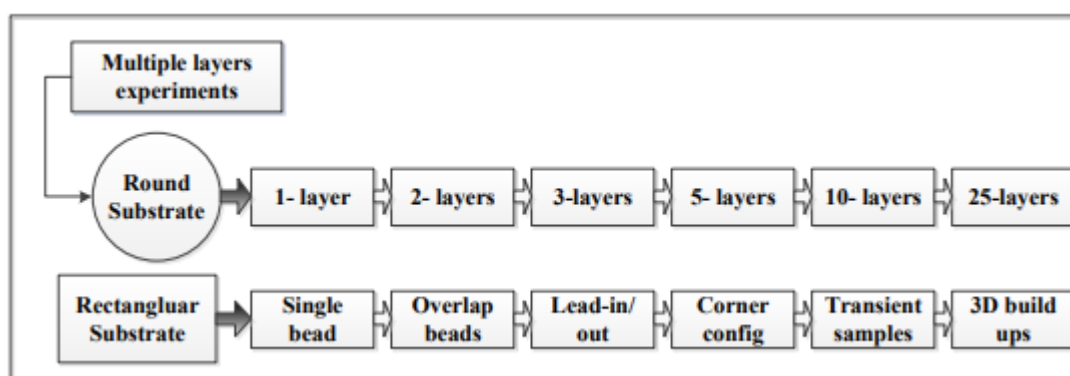
3.1-сурет- Үш қабатты қабаттасу қимасының сызбасы

Барлық қабаттасу конфигурациясында қабаттың енінің 3 жиынтығы ($W1$, $W2$, $W3$), биіктік ($H1$, $H2$, $H3$) және ену ($P1$, $P2$, $P3$), яғни 40%, 50% және 60%, өйткені қайталанатын эксперименттер бір пассажды үш пішінді түзумен шектеледі.

3.1 Бірнеше қабаттарды төсеу шарттары

Әдетте, лазерлік қабықшаның көлденең қимасының нысаны жарты нысаны болып табылады және ені мен биіктігімен сипатталуы мүмкін, бірақ жиі кейбір дұрыс емес геометриялық пішіндерді табуға болады, өйткені қабаттар таңдалған параметрлердің негізінде бір-біріне отырғызылады.

Бір қабатта және пайыздық қабаттасқан қабаттарда тәжірибе өткізгеннен кейін; олардың нәтижелері мен нәтижелері 5-тарауда түсіндірілген; жылудың бірнеше қабаттарға әсерін түсіну және модельдеу; бисермен қаптау тәжірибелері (3.2-сурет) дөңгелек төсеніште жасалады, ал қалған бөлігі тікбұрышты өсеніште дайындалады.



3.2-сурет- Көп қабатты эксперименттерді жүргізу реті;

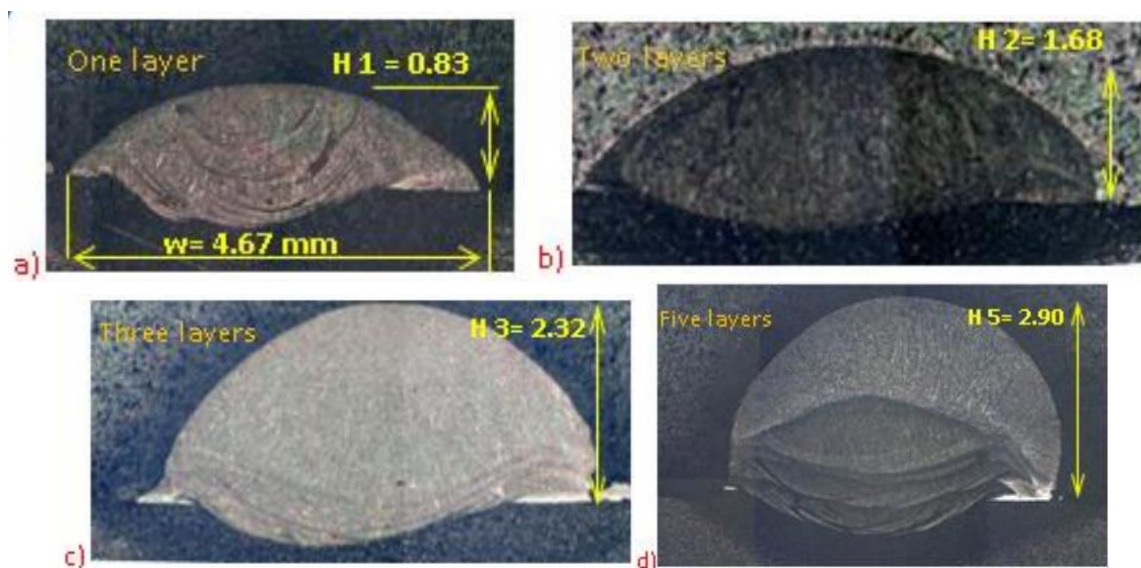
Эксперименттердің осы жиынтығы үшін таңдалған технологиялық параметрлер 4b кестесінде көрсетілгендей өнеркәсіптік серіктес

сараптамасынан алынады. (қалың шама). 3.3-суретте бір қабатты, екі қабатты, үш қабатты және бес қабатты қималар көрсетілген. Бисердің биіктігі қабаттар санына тура пропорцияда емес екенін көруге болады.

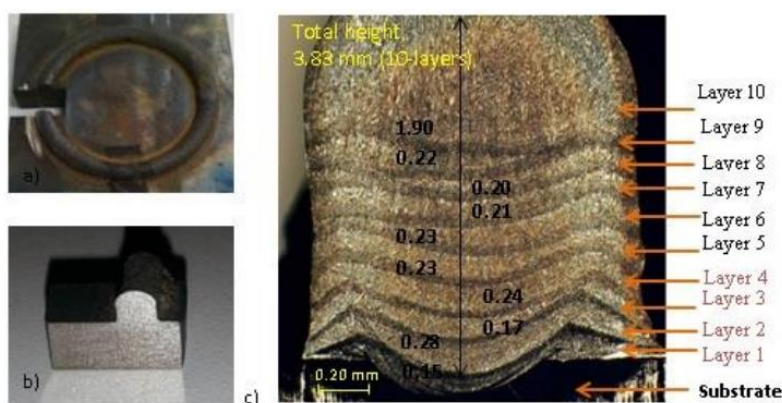
Лазерлік балқыту ортасы қатты байланысты болғандықтан, қабаттардың биіктігі мен енінің ауытқушылық өзгеруінің шынайы себебін түсіну қиын.

Бұл бақылау 10 қабатты және 25 қабатты болаттан жасалған ұнтақты төсеніште қаптау үлгілерін дайындауды одан әрі зерттеумен бекітіледі.

Процесс параметрлері барлық эксперименттерде тұрақты. 3.4-суретте 10 қабатты үлгі көрсетілген.



3.3-сурет- Бір, екі, үш және бес қабаттардың көлденең қималары



3.4-сурет- а) 10 қабаттан жасалған дөңгелек үлгі жалатылған б) EDM кесіндісі-жылтыратылған және өңделген в) 10 қабаттың жеке биіктіктері бар микрофотографияның түрі ММ-де көрсетілген.

3.3-сурет пен 3.4-суретті талдау кезінде бір қабатты шөгу кезінде шөгілген қабаттың шекарасы +Z координатына перпендикуляр төсеніштің жазық бетінде орналасады, ал көп қабатты шөгуде ол тегіс бетте шөгілмейді, ал

тұрақты емес беті бар алдыңғы қабатта шөгіледі деп есептеледі. Бұл айырмашылық екінші, үшінші және одан кейінгі қабаттарға арналған аддитивті материалды қосу үшін жаңа методологияны әзірлеуді немесе түсінуді талап етеді.

"М" формасының болу себептерінің бірі балқыту және катаю бір мезгілде шағын алаңда орын алуы мүмкін және әрбір келесі қабат ерте уақытта алдыңғы қабатқа тұнады. Алғашқы бірнеше қабаттар екі жағынан ұштары бар «м» нысанын құрады, содан кейін қалған бөліктерде тегістелді. Осы 10 қабатты үлгінің өлшемдері 7-кестеде келтірілген. Бұл мәндер нәтижелер бөлімінде талқыланатын қабаттың биіктігі мен әрбір қабатталған қабаттың ауданын көру үшін сызылған. Осы бірнеше қабатты үлгіні алу үшін 25 қабаттан тұратын тағы бір үлгі дайындалып, 10 қабатты үлгіні салыстырады.



3.5-сурет- 10 қабатты және 25 қабат

3.5-суретте екі көп қабатты үлгі және биіктікте табылған айырмашылық көрсетілген. $5.90 \text{ мм} - 3.83 \text{ мм} = 2.07 \text{ мм}$ (шөгу 10 қабатының соңында)

1 кесте. Әр қабаттың өлшемдері көрсетілген.

Қабаттар Саны	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Қабаттың биіктігі (мм)	0,15	0,28	0,17	0,24	0,23	0,23	0,21	0,20	0,22	1,90
Қабаттың ені (мм)	3,80	3,72	3,65	3,60	3,57	3,48	3,48	3,49	3,50	3,53
Қабаттың ауданы (мм ²)	0,58	0,74	0,64	0,93	0,89	0,72	0,75	0,69	0,76	5,15

Барлық құрылымдарда жылу болады, содан кейін алдыңғы қабаттардың катаяуы жүреді, бұл процесті жоспарлауға және нақты уақыттық стратегияға осы құбылысты шешуге қиындық тудырады. Өндіріс процесінің параметрлері

мен қабатардың соңғы геометриясы арасында маңызды өзара әрекеттесулер болуы мүмкін.

ҚОРЫТЫНДЫ

Диплом жазу барысында барлық қойылған талаптарға қол жеткізілді. Laser Cladding лазерлік балқыту тарихы толық қанды зерттелді. Екі сатылы лазерлік қаптамалар (алдын-ала орналастырылған лазерлік қаптама) жүргізілді. Ұнтақ беретін бір сатылы лазерлік балқыту процесін қарастырдық. Қабаттарды басу эксперимент жасалды (40%, 50% және 60% процентерінде толтыру).

Қабаттарды басумен қатар жүретін бір қабат әдетте, қалыптау жұмыстарында қолданылады, ал бір-біріне қабаттасқан қабаттар металдың металлургиялық қасиеттерін жақсарту үшін металл бетін жабу үшін қолданылады. Қабаттап басудың эксперименті 40%, 50% және 60% толтыруымен үш қабатты қабаттастыру жоспарлануда, бірақ уақыт пен шығынға байланысты екі рет қайталанады.

Микроскопен қабаттың өлшемі мен профиліне байланысты пішін параметрлерін алу үшін белгілі бір ұлғайту орнатылады және олар төменде қысқаша сипатталған.

Лазерлік балқыту ортасы қатты байланысты болғандықтан, қабаттардың биіктігі мен енінің ауытқушылық өзгеруінің шынайы себебін түсіну қиын.

Бұл бақылау 10 қабатты және 25 қабатты болаттан жасалған ұнтақты төсеніште қаптау үлгілерін дайындауды одан әрі зерттеумен бекітіледі.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 J. Mazumder and J. Singh, "Laser surface alloying and cladding for corrosion and wear," NATO ASI Series, Series E: Applied Sciences, no. 115, pp. 297—307, 1986.
- 2 J. Mazumder and A. Kar, "Solid solubility in laser cladding," Journal of Metals, vol. 39, no. 2, pp. 18—23, 1987.
- 3 U. Ritter, W. Kahrman, R. Kupfer, and R. Glardon, "Laser coating proven in practice," Sulzer Technical Review, vol. 73, no. 3, pp. 18—20, 1991.
- 4 L. Jianglong, D. Peidao, and S. Gongqi, "Scanning electron microscopy study of laser coating microstructures," Materials Characterization, vol. 33, no. 4, pp. 387—391, 1994.
- 5 S. Corbin, E. Toyserkani, and A. Khajepour, "Cladding of Fe-Al coating on mild steel using laser assisted powder deposition," Journal of Materials Science and Engineering A, vol. 354, no. 1-2, pp. 48—57, 2003.
- 6 Технологии 3D-печати. Принципы, возможности, расходные материалы, цены // URL: http://www.ixbt.com/printer/3d/3d_tech.shtml.
- 7 K.F. Tam, F.T. Cheng, and H.C. Man, "Laser surfacing of brass with Ni-Cr-Al-Mo-Fe using various laser processing parameters," Materials Science and Engineering A, vol. 325, no. 1-2, pp. 365—374, 2003.
- 8 W.M. Steen and C.G.H. Courtney, "Surface heat treatment of En8 steel using a 2kW continuous-wave CO2 laser," Metals Technology, vol. 6, no. 12, pp. 456—462, 1979.
- 9 S. Das, "Physical aspects of process control in selective laser sintering of metals," Advanced Engineering Materials, vol. 5, no. 10, pp. 701—711, 2003.