

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

Бегис Жархын

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

Дипломдық жобаға

ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА

5В071200 – Машина жасау

Алматы 2021

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.
«05» май 2021 ж.

Дипломдық жобаға

ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА

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

5B071200 – Машина жасау

Орындаған

Бегис Жархын

Ғылыми жетекші,
PhD д-ф, қауым. профессор
Арымбеков Б.С.
«05» май 2021 ж.

Алматы 2021

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.

«__» _____ 2021 ж.

**Дипломдық жоба орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы Бегис Жархын

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

Университет ректорының «04» 11 2020 ж. № 2131 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

- a) 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	05.02.21 - 12.02.21.	орындалды.
3D басып шығару, Параметрлік зерттеу	03.03.21 - 10.03.21.	орындалды.
Бірнеше қабат: аддитивті өндіріс	25.03.21 - 02.04.21	орындалды.
Бүйір жабынын талдау	11.04.21 - 20.04.21	орындалды.

Дипломдық жоба бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жобаға қойған қолтаңбалары

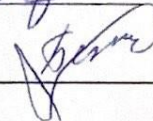
Бөлімдер атауы	Кеңесшілер, аты, әкесінің аты, тегі (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Норма бақылау	Арымбеков Б.С. PhD доктор, асау профессор	05.05.21	

Ғылыми жетекші



Арымбеков Б.С.

Тапсырманы орындауға алған білім алушы



Бегис Ж.

Күні

«05» маусым 2021 ж.

АНДАТПА

Берілген дипломдық жобада аддитивті технологиялардың ішіндегі Laser Metal Deposition процесінің жұмыс жасауын толық зерттелді. Ti-6Al-4V сым негізіндегі лазерлік металды тұндыру үшін параметрлік зерттеу жасалды және орындалды.

Су астындағы лазерлік қоспаларды өндіру технологиясы туралы хабарламалар болған жоқ. Бұл жұмыста Ti-6Al-4V су астындағы жұқа қабырғалы бөлік алдымен металды лазерлік тұндыру (LMD) әдісімен салынды, сонымен қатар қалыптылық, дәндердің өсуі және микроқұрылымның өзгеруі зерттелді. Тұрақты жергілікті құрғақ қуыс және тұндырылған қабатты қоршап тұрған қорғаныс газ ағынының қабаты LMD процесінде жетілдірілген LMB саптамасын қолдана отырып, жарықтар мен тесіктерсіз біртекті жұқа қабырғалы бөлік түзеді. Жылу ағынының бағытына эпитаксиалды түрде қарама-қарсы өсетін бағаналы β -дәндер LMD-нің бүкіл бөлігінде байқалды, астық мөлшері алдымен ұлғайып, содан кейін жауын-шашын қабатының жоғарылауымен төмендеді, бұл салыстырмалы өсу мен салқындату жылдамдығының төмендеуімен түсіндірілді. Суды салқындату әсері LMD бөлігінің жоғарғы аймағында ғана пайда болған эквивалентті β -дәндердің пайда болуына кедергі келтірді. LMD үлгісінің микроқұрылымдары үшін төменгі аймақта әр түрлі мөлшердегі α' инелі мартенситтер пайда болды, ал α' мартенситтер біртіндеп көптеген жылу циклдерінің болмауына байланысты жоғарғы аймақты қоспағанда, Плиталық және блок тәрізді α фазасымен ауыстырылды. Салқындатудың жоғары жылдамдығы α' - мартенситтің пайда болуына ықпал етті және LMD бөлігінің бетінің енін азайтты.

АННОТАЦИЯ

В данном дипломном проекте подробно изучено функционирование процесса Laser Metal Deposition среди аддитивных технологий. Было разработано и выполнено параметрическое исследование для осаждения лазерного металла на проволочной основе Ti-6Al-4V.

Никаких сообщений о технологии производства подводных лазерных добавок не поступало. В данной работе подводная тонкостенная деталь Ti-6Al-4V была построена сначала методом подводного лазерного осаждения металла LMD, а также исследованы формуемость, рост зерен и трансформация микроструктуры. Стабильная локальная сухая полость и слой защитного газового потока, окружающий осажденный слой, образуются в процессе LMD с использованием усовершенствованного сопла, образуя однородную тонкостенную деталь без трещин и пор. Столбчатые β -зерна, растущие эпитаксиально противоположно направлению теплового потока, наблюдались во всей части LMD, причем размер зерен сначала увеличивался, а затем уменьшался с увеличением слоя осаждения, что объяснялось сравнительным ростом и уменьшением скорости охлаждения. Эффект водяного охлаждения подавлял образование равноосных β -зерен, которые формировались только в верхней области части LMD. Для микроструктур образца LMD в нижней области образовались только игольчатые мартенситы α' с различными масштабами размеров, а мартенситы α' постепенно заменялись α -фазой пластинчатой, пластинчатой и блочной формы с увеличением высоты здания, за исключением верхней области из-за отсутствия множественных тепловых циклов. Большая скорость охлаждения способствовала образованию α' - мартенсита и уменьшала ширину поверхности детали LMD.

ANNOTATION

In this diploma project, we fully studied the functioning of the Laser Metal Deposition process in additive technologies. A parametric study was developed and performed for the deposition of Ti-6Al-4V wire-based laser metal.

No underwater laser additive manufacturing technology has been reported. In this paper, the underwater thin-walled Ti-6Al-4V part was built firstly by underwater laser metal deposition (LMD), and the formability, grain growth and microstructure transformation were investigated. The stable local dry cavity and the shielding-gas flow layer surrounding the deposited layer formed during the LMD process utilizing an improved LMB nozzle, generating the uniform thin-walled part without cracks and pores. Columnar β -grains, growing epitaxially opposite to the heat flow direction, were observed in the whole LMD part, and the grain size increased firstly and then reduced with increasing the deposition layer, attributed to the comparative growth and decreasing cooling rate. The water cooling effect suppressed the formation of equiaxed β grains that only formed in the top region of LMD part. For the microstructures of LMD sample, only acicular martensites α' with different size scales formed in the bottom region, and martensites α' were replaced gradually by α phase with lamellar, lathy and blocky shapes with increasing the building height, except the top region because the absence of multiple thermal cycles. The larger cooling rate promoted the formation of α' martensite and decreased the width of α lath of LMD part.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	9
1 Laser Metal Deposition технологиясы	11
2 Материалдар мен әдістер	15
2.1. Жабдықтың сипаттамасы	15
2.2. Субстрат және шикізат материалдары	16
3 Сымды негізделген LMD параметрлері	17
3.1. Параметрлік зерттеу	17
3.2. Жалғыз моншақтар	20
3.3 Бір қабатты, бір жақты	22
3.4. Бірнеше қабат: аддитивті өндіріс	27
Қорытынды	30
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	31

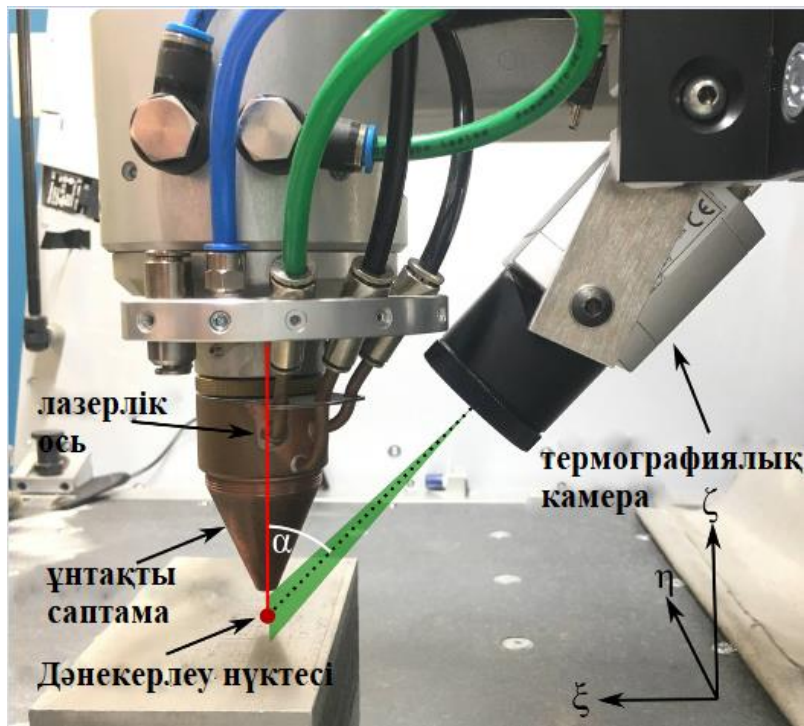
КІРІСПЕ

LMD Аддитивті технологиясы қабатты технологиялық процеске негізделген. Дәстүрлі өндірістік процестермен салыстырғанда Аддитивті технологиясы күрделі үш өлшемді компоненттерді тезірек және үнемді өндіруге мүмкіндік береді. Аддитивті технологиялардың көпшілігі шикізат ретінде ұнтақ немесе сым материалдарын пайдаланады. Бұл материалдар жылу көзінің әсерінен ериді және қатайды. Қазіргі уақытта жылудың негізгі көздері лазер, электронды сәуле және доға болып табылады. LMD процесінде лазер сәулесі матрицада балқытылған ваннаны қалыптастыру үшін қуат көзі ретінде қолданылады, ал ұнтақтың тұрақты берілу жылдамдығы бар саптамамен жеткізілетін ұнтақ балқытылған ваннаға құйылып, ериді. Балқытылған шұңқыр лазерлік өңдеу басы мен жұмыс үстелі немесе робот арасындағы салыстырмалы қозғалыс кезінде тез қатайды. Соңғы жылдары лазерлік технологияның дамуымен LMD-ді зерттеу және қолдану негізінен технологиялық процестерді, микроқұрылымдарды және механикалық қасиеттерді оңтайландыруға бағытталған. Алайда, өндірістің төмен тиімділігі және үлкен деформация оны одан әрі өнеркәсіптік қолдануды шектейді.

LMD өзінің керемет сипаттамаларына байланысты кең перспективаға ие, әсіресе супер қорытпалар мен титан қорытпаларын керемет қасиеттерді қажет етеді. Никель негізіндегі супер қорытпалар қазіргі уақытта машина жасауда жоғары беріктігі, тамаша технологиялық қасиеттері және жоғары температуралық қасиеттеріне байланысты қолданылады. К648 Суперсплав-бұл жоғары хромды қорытпа. Жоғары температуралы компоненттерде кеңінен қолданылатын никель негізіндегі супер қорытпалар турбиналық бөліктің жылу алмастырғышы және жану камерасының жылу құбыры. К648 суперқорытпа компоненттері әдетте құю және ыстық немесе суық илектеу сияқты дәстүрлі өндіріс технологияларын қолдану арқылы жасалады.

1 Laser Metal Deposition технологиясы

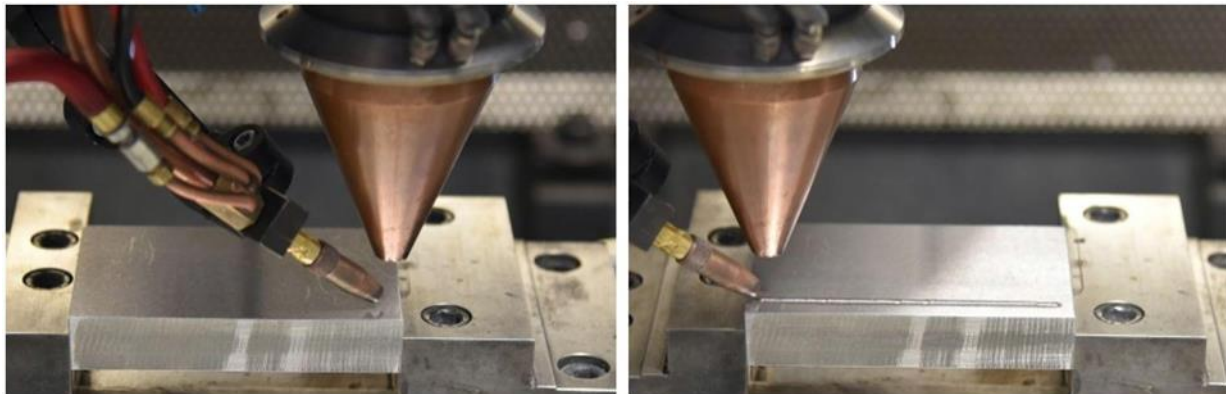
Титан қорытпалары, әсіресе Ti-6Al-4V, теңіз және атом өнеркәсібінің сыни компоненттерінде кеңінен қолданылады, бұл олардың массаға беріктігінің жоғары қатынасына және коррозияға төзімділігіне байланысты. Алайда, ауа ортасымен салыстырғанда, су астындағы ортада судың эрозиялық және коррозиялық әсері компоненттерді зақымдауы мүмкін, ал ақаулар байқалған кезде компоненттер құрылымдық тұтастықты сақтау үшін жөндеуді немесе ауыстыруды қажет етеді. Су асты жөндеу технологиясы әлі күнге дейін негізінен су асты доғалық дәнекерлеу және жабыстыру болып табылады, тот баспайтын болаттан бағытталған болатын және төмен дәлдікпен тек екі өлшемді жөндеу орындауға болатын. Су астындағы сыни компоненттерге келетін болсақ, кез-келген жөндеу құрылымдық тұтастық пен функционалдылыққа кепілдік беруі керек. Сонымен қатар, Ti-6Al-4V бөлігін су астындағы ортада оның экстремалды белсенділігі арқасында жөндеу қиын.



1-сурет Металлдарды лазерлік тұндырудың LMD көрінісі.

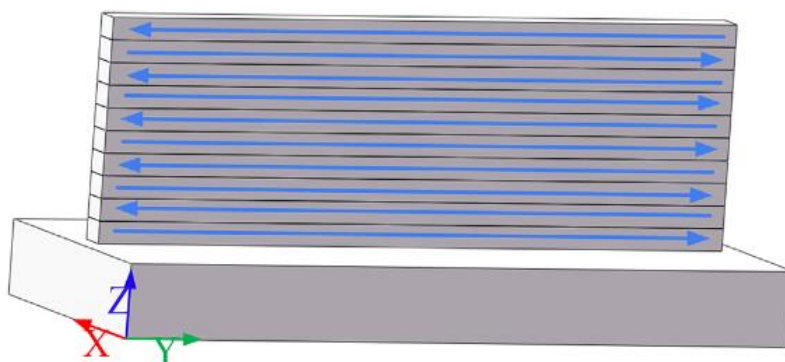
Жылу көзі ретінде лазерді, электронды сәулені немесе доғаны қолданатын аддитивті өндіріс 3 өлшемді 3D металл компоненттерін жасау үшін торлы пішінге жақын өндіріс әдісін ғана емес, сонымен қатар қабаттасу процесінде зақымдалған компоненттерді орнында 3D жөндеу технологиясын да ұсынды. Металды лазерлік тұндыру LMD және селективті лазерлік балқыту SLM кіретін лазерлік АМ-технологиялар уақыт үнемдеудің жақсы әлеуеті, жоғары дәлдігі

және көрнекті пайдалану сипаттамалары бар геометриялық және құрылымдық қалпына келтіруді қоса алғанда, металдардың 3D өндірісі мен жөндеуінде біртіндеп қолданылды. Осы уақытқа дейін Ti-6AL-4V қорытпасы лазерлік технологиясының көптеген зерттеулері туралы айтылды және олардың көпшілігі негізінен микроқұрылым мен қасиеттерді зерттеуге бағытталған.



2-сурет Процестің басталу және аяқталу кезіндегі суреттері(тұндыру бағытын көрсетеді).

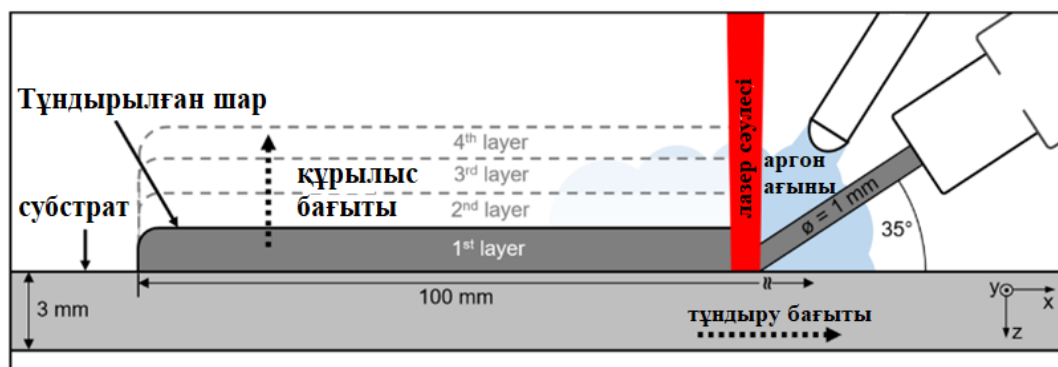
АМ процесінде негізгі металы альфа-(α) фазадан және бета-(β) фазадан тұратын Ti - 6AL - 4V қорытпасының микроқұрылымдық түрленуі жылу көзі шыққаннан кейін қыздыру кезеңіндегі ең жоғары температураға және салқындату жылдамдығына байланысты болды. SLM жасаған Ti-6AL-4V егжей-тегжейлерінде ламелалар мен ацикулярлы мартенсит фазасы жоғары тығыздықты дислокация мен қосарланған фазаны өзін-өзі сөндірудің жоғары жылдамдығына байланысты диффузиясыз түрлендіру арқылы алынды, ал төрт мартенсит олардың өлшемді масштабтары қалыптасу кезеңдеріне байланысты анықталды. Толық түрлендіруге қол жеткізу үшін салқындату жоғары болды. Мартенситтік фазалық трансформация LMD сым беру технологиясымен жасалған 3D үлгілерінің бөлігінде де байқалды, бірақ көптеген үлгілерде микроқұрылым төмен салқындату жылдамдығына байланысты пластинаның тоқу фазасы болды.



3-сурет Лазерлік аддитивті өндіріс стратегиясының схемасы.

Жасалған Ti-6Al-4V қорытпасымен салыстырғанда, бұл компоненттер созылу күші мен беріктікке ие болды, бірақ олардың салыстырмалы ұзаруы попоп-equilibrium фазасының болуына байланысты айтарлықтай төмендеді. Сонымен қатар, A' фазасы Ti-6Al-4V өндірісінің АМ-үлгісіндегі пассивті пленканың сапасын төмендетеді, сондықтан коррозияға төзімділікті әлсіретеді. Микроқұрылымның түрі мен морфологиясын жылу беру, құрылыс стратегиясы және өндіріс процесінің жылу тарихын анықтайтын қабаттар арасындағы уақыт аралығы басқара алады Ti-6Al-4V өндірісінің үлгісін зерттеудің барлығы дерлік жағымсыз бағаналы дәндердің болуын көрсетті, өйткені бұл құрылымды астық құрылымдары айқын анизотропты механикалық қасиеттерді көрсетті. Алайда, ам кезінде салқындату және интерфазалық шекара алдындағы баяу нуклеация жылдамдығы қатты-сұйық дәндердің эпитаксиалық өсу түрінде бірнеше қабаттар арқылы пайда болуына әкелді, сондықтан бағаналы дәндердің пайда болуы балқытылған металға астық пен нуклеация бөлшектерін тазартатын ерітінді қоспай сөзсіз болды. Микроқұрылымнан, астық мөлшерінен және морфологиядан басқа, алынған Ti-6Al-4V АМ-ның механикалық әрекеті стресс күйімен және жарықтар мен кеуектілік сияқты ақаулармен байланысты болды.

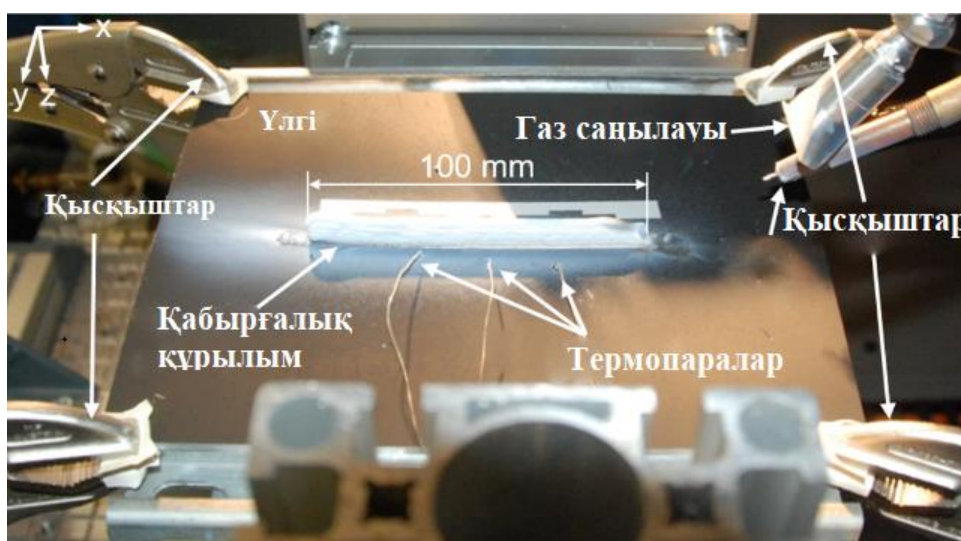
Мысалы, газды ұстап қалу және шөгуге кеуектілігі нәтижесінде пайда болған тесіктер мен жарықтар тым жоғары қалдық кернеулерде пайда болады. Соңғы жылдары LMD-ді сыммен қамтамасыз ету оның артықшылықтары үшін көбірек назар аударуда, оның ішінде ластанудың аздығы, жауын-шашынның жоғары жылдамдығы және ұнтақ шикізатын қолдана отырып, салыстырғанда шығарылатын бөліктің жоғары тығыздығы. Сонымен қатар, LMD сыммен қамтамасыз ету 3D су астындағы жөндеу жұмыстарына анағұрлым қолайлы болды, бұл жұмыс кезінде қорғаныс газының ауа ағынының тұрақтылығына қойылатын төмен талаптарға байланысты. LMD технологиясының қарқынды дамуымен теңіз және атом өнеркәсібінде жоғары дәлдікпен, жоғары жауын-шашын жылдамдығымен және тамаша жөндеу сапасымен зақымдалған сыни компоненттерді суасты жөндеуге қол жеткізудің жаңа технологиясы ретінде әзірленуі мүмкін. Бір қабатты тұндырылған жабындар коррозияға төзімділігін арттыру үшін су асты лазерлік Плакировка әдісімен тікелей 15 мм тереңдікте су ортасында 316 L тот баспайтын болаттан, сондай-ақ никель-алюминий-қола алдын-ала дайындалған Ti және Zn қорғаныш қабатында су асты лазерлік Плакировка процесі алдында алынды. Алайда, гетерогенді келбеті бар тұндырылған қабаттың сапасы төмен болды, ал егер судың тереңдігі 15 мм-ден асса, онда ешқандай беткі қабат пайда бола алмады.



4-сурет Металлдарды лазерлік тұндырудың (LMD) схемалық көрінісі

Тот баспайтын болаттан жасалған бөлшектерді жөндеу үшін LMD технологиясы қолданылды және жөндеу аймағының айналасында жергілікті құрғақ қуыстың пайда болуына байланысты жоғары сапалы жабын қабаты алынды. Ti-6Al-4 қорытпасы үшін жергілікті құрғақ LMD сымды су ортасында беру технологиясы жасалды және тотығу мен ақауларсыз біртекті жалғыз шарлар жасалды. Сонымен қатар, қаптаудың көп жолды қабаты да дайындалды, бірақ балқытылған металдың беті тотығып, макроскопиялық жарықтар байқалды.

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. Лазерлік АТ дамуы суперқорытпаларды іздеудің күрт өсуіне әкелді. Айта кету керек, суперқорытпа компоненттері негізінен коррозия, тотығу және тозу механизмдері қатысатын Жоғары температуралы ортада қолданылады.



5-сурет Металлдарды лазерлік тұндыру LMD аргон газын қолдану процесі.

Лазерлік дақ диаметрі 1,6 мм болатын қабырға тәрізді құрылымды құру үшін бірнеше жеке борттық қабаттардың бір бағытты жауын-шашын орындалатын LMD процесінің схемасы; лазердің қуаты 4000 Вт, сымның берілу жылдамдығы 10 м/мин, субстраттың қозғалатын пластинасының жазықтығына қатысты 35 ° бұрышпен; тұндырылған қабырға тәрізді құрылымы бар қысылған субстраттың бүйір көрінісі, термопараның бекітілген позициялары, қорғаныс газының саптамасы және LMD-ден кейін олардың соңғы күйінде сым беру.

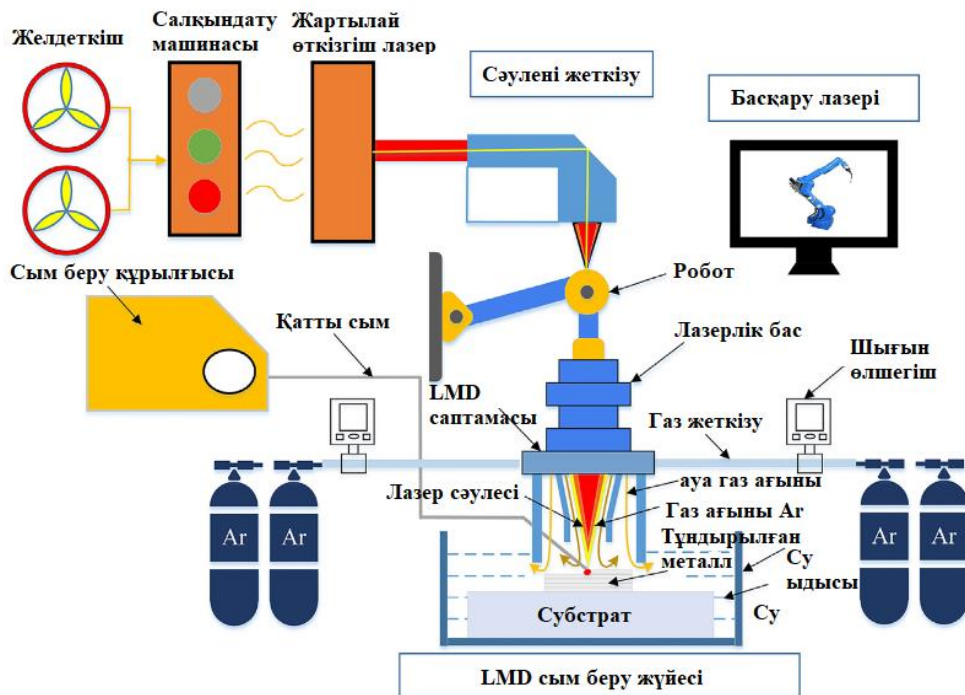
Сондықтан олардың жоғары температураға төзімділігі жұмыс істейтін компоненттердің жылу тұрақтылығы үшін өте маңызды. Суперқорытпалардың жоғары температуралық тотығуға төзімділігі бойынша зерттеулер негізінен суперқорытпаларды құю мен соғуға бағытталған. Ыстыққа төзімді АМ қорытпаларының Жоғары температуралы тотығуы бойынша шектеулі зерттеулер 625 және 718 қорытпаларында жүргізілді. Авторға белгілі болғандай, қосымша дайындалған жоғары хромды супер қорытпалардың жоғары температуралық тотығуға төзімді қасиеттері бойынша жарияланған зерттеулер жүргізілген жоқ. Бұл зерттеуде К648 жоғары хромды супер қорытпалары LMD технологиясымен де, LMD технологиясымен де шығарылды және өнімдер әртүрлі уақыт аралығында 900 °С температураға ұшырады. Тотығу кинетикасы әр түрлі уақыт ұзақтығындағы массаның өсуін өлшеу нәтижелері негізінде анықталады және соған байланысты тотығу механизмі талқыланады. Алынған нәтижелер осындай жоғары хромды супер қорытпа компоненттерін перспективалы өндірудің теориялық негізі бола алады.

2. Эксперименттік әдіс

2.1. Экспериментті орнату

Жұқа қабырғалы бөлшектер су ортасында LMD эксперименттік сым беру жүйесімен, негізінен жартылай өткізгіш лазермен, оптикалық талшықпен, лазерлік баспен, сым беру жүйесімен, 6 осьтік роботпен және LMD-нің өздігінен жасалған саптамасымен жасалды. LMD процесінде субстрат тереңдігі 60 мм су ыдысына ауыстырылды, ал лазер басының астына орнатылған LMD саптамасы лазер мен Жоғары температуралы балқытылған металдың таралу процесін су ортасынан қорғау үшін пайдаланылды. Суретте көрсетілгендей. Бұл LMD саптамасы екі қабатқа бөлінді; сыртқы қабат суды болдырмау үшін аргонды енгізді және осылайша лазерлік қоспалар өндірісі аймағының айналасында жергілікті қуысты құрады, ал аргон балқытылған ваннаны тотығудан қорғау үшін ішкі қабатқа енгізіліп, лазерлік плазма мен буды қорғаныс газы ретінде

таратады. Осы типтегі саптама арқылы Ti-6AL-4V қорытпасының біртекті однополяктары тотығусыз және ақауларсыз сулы ортада алынды. Бірақ ішкі газ экраны әр қабырғаға параллель лазер сәулесінің бағыты бойынша қосылды. Аргон газ өрісіне еніп, Жоғары температуралы тұндырылған Ti-6AL-4V қорытпасын қорғау үшін кеуекті күйежентектелген тот баспайтын болаттан жасалған тақтайша арқылы ағып жатты.



6-сурет Металлдарды лазерлік тұндырудың LMD схемалық көрінісі

2.2. Үлгілерді дайындау

LMD Ti-6Al-4V жұқа қабырғалы қорытпасының үлгілері шығарылды және құрылыс стратегиясы суретте көрсетілген. Үлгілерінің анықтамалық жүйесі келесідей анықталды: X осі-көлденең бағыт, Y осі-лазердің қозғалыс бағыты, ал Z осі-құрылыс биіктігінің бағыты. Лазер сәулесі мен қатты сым Y осі бойымен екі іргелес қабаттар арасында оң бағытта қозғалады. Әр қабатты қолданғаннан кейін қабаттар арасындағы уақыт аралығы 60 с, содан кейін лазер басы Z бағытында көтерілді. Ti-6Al-4V қорытпасының химиялық құрамы 1-кестеде, ал процестің нақты параметрлері 2-кестеде көрсетілген. Айта кету керек, процестің параметрлері ақауларсыз біртекті однополейканы алу үшін оңтайландырылды.

Металлографиялық үлгілер LMD Ti-6Al-4V үлгілерінен X осі бойымен кесіліп, содан кейін тегістеліп, механикалық түрде жылтыратылып, қоян шөткішімен уланған. Ti-6Al-4V үлгілерінің көлденең қимасында макроқұрылымды түсіру үшін оптикалық сандық микроскоп қолданылды. LMD және ILMD бөліктерінің әртүрлі аймақтарында макроқұрылымдар сканерлеуші электронды микроскоптың(SEM) көмегімен егжей-тегжейлі талданды)

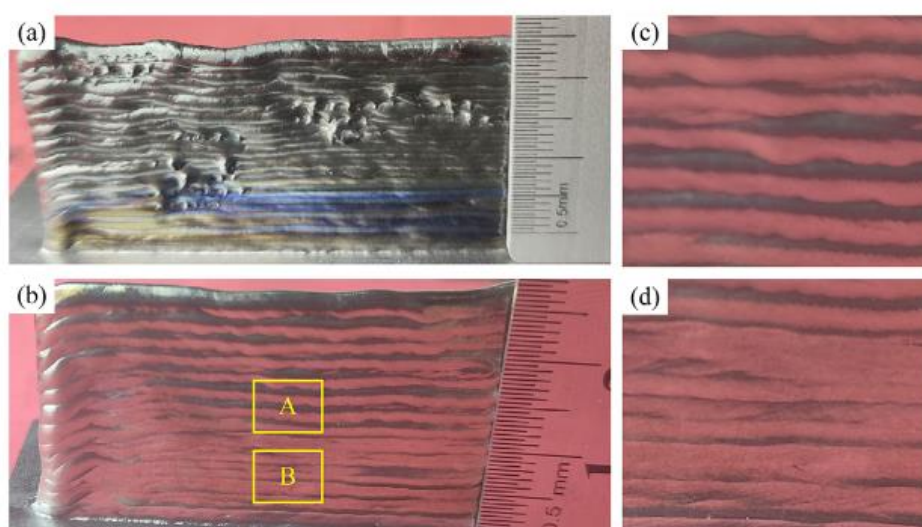
Кесте 1. Ti-6Al-4V қорытпасының химиялық құрамы.

Grade	C%	O%	H%	N%	Al%	V%	Fe%	Ti%
Ti-6Al-4V	0.06	0.12	0.009	0.03	6.4	4.2	0.18	Bal.

3 Сымды негізделген LMD параметрлері

3.1. Параметрлік зерттеу

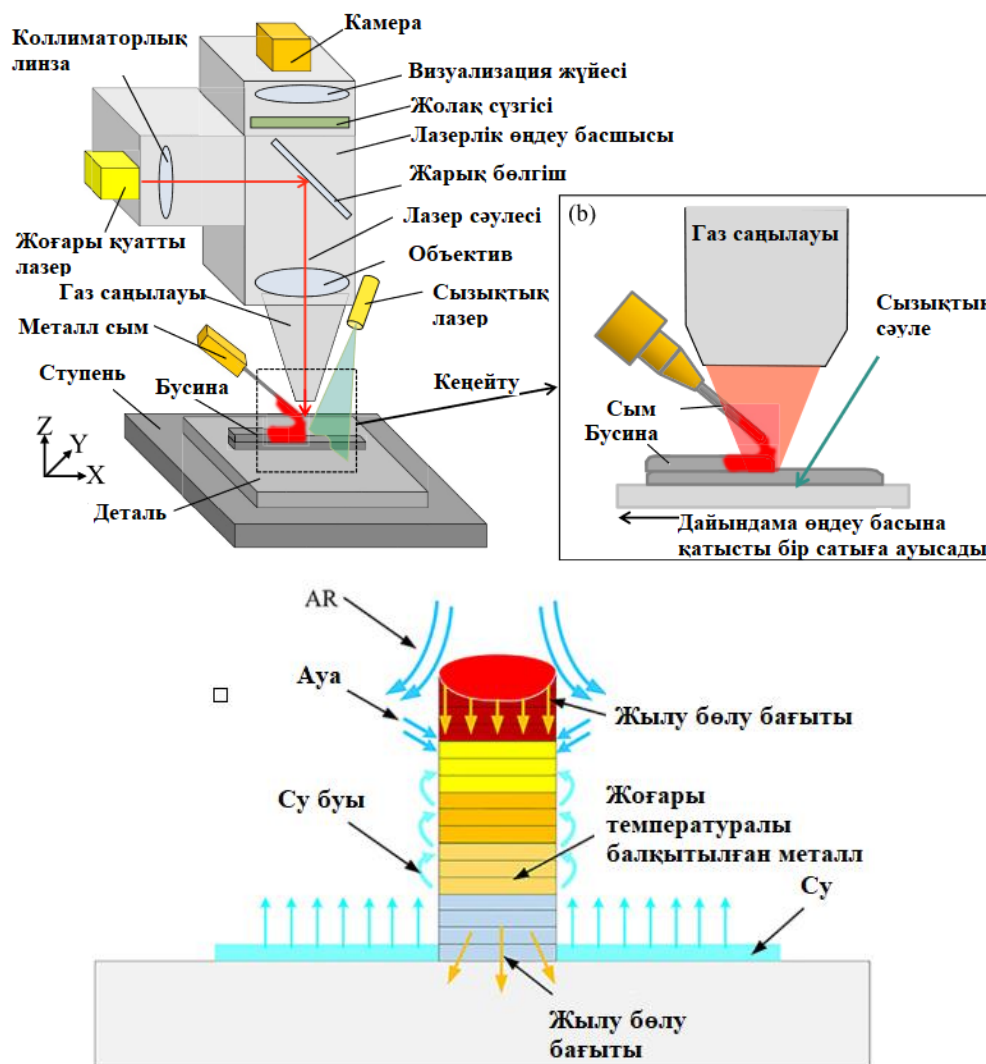
Сур. 4 екі түрлі LMD саптамаларын қолдана отырып салынған LMD бөліктерінің тұндыру көрінісін ұсынады. 1 типті саптамамен жасалған LMD бөлігі үшін жауын-шашынның көрінісі біркелкі емес және күріш. Бетінің түсі күмістен, сары, көк түстен сұрға дейін өзгерді, бұл LMD процесі кезінде тұндырылған металдың жоғары тотығуын көрсетті. Суретте көрсетілгендей. 2 типті саптаманы қолданған кезде біркелкі сыртқы түрі бар LMD бөлігі алынды, ал бетінде LMD процесінде пайда болатын тотығудың жоқтығын көрсететін күміс пайда болды.



7-сурет Әртүрлі су асты шүмектерін пайдалану арқылы ULMD бөлшектерінің сыртқы түрі: (a) 1 типті шүмек; (b) 2 типті шүмек;

Суретте көрсетілгендей LMD бөлігінің пайда болуы LMD сымдарын беру процесіне қатысты мерзімді өзгерістерді көрсетті. Сонымен қатар, LMD бөлігі үшін төменгі аймақтың Беті басқа аймаққа қарағанда тегіс болды. LMD саптамасын қолдана отырып, LMD процесінде су ортасының тұндырылған металмен өзара әрекеттесуін көрсетеді. Бастапқы кезеңде LMD аймағының айналасындағы су экрандаушы газбен жойылды, ал субстратта тек жұқа су қабаты қалды, ол аддитивті өндіріс процесін бұзбайды және тотығусыз біртекті жалғыз жол пайда болды. LMD процесі кезінде, тұндырылған қабаттың биіктігі жоғарылаған сайын, LMD саптамасы ғимараттың биіктігі бағытында жоғары қарай жылжыды (Z осі), осылайша саптама мен субстрат арасындағы қашықтық біртіндеп өсті, нәтижесінде LMD саптамасының қорғаныс әсері азайып, судың бір бөлігі LMD саптамасына кері қарай келді. Жаңа қабатты қолданған кезде лазер сәулесі тұндырылған қабатты сәулелендіріп, LMD-нің бүкіл бөлігінің

температурасы көтеріліп, тұндырылған металдың айналасындағы су буланып, бу суретте көрсетілгендей газ фазасына кірді.



8-сурет Металл сымды лазерлік тозаңдатуға арналған биіктікті өлшеу жүйесінің конструкциясы: а) биіктікті өлшеу жүйесі және б) тозаңдату жағдайының ұлғайтылған түрі.

Нәтижесінде Жоғары температуралы металл су буымен ластанған болар еді, осылайша LMD бөлігінің беті тотығады және Қою сұр немесе көк түсті шығарады. 2 типті саптаманы қолдана отырып, LMD процесі кезінде саптаманы Z бағытында жылжытқан кезде судың кері ағуының алдын алу үшін сақинасы қолданылды, су ортасымен байланысқан субстраттың бетінде тек жұқа су қабаты қалды және LMD процесі кезінде су буының мөлшерін азайту арқылы судың кері ағуына жол берілмеді; сонымен қатар, Жоғары температуралы металды тотығудан қорғауға болатын тұндырылған қабаттың бетін қоршап тұрған газ ағынының қорғаныш қабатын құрады. Нәтижесінде тотығусыз біртекті сыртқы түрі бар бөлік алынды

Макроқұрылым мен формаға сипаттама. XZ жазықтығындағы көлденең макроқұрылымдар LMD технологиялары бойынша жасалған Ti-6Al-4V жұқа қабырғалы бөліктерінің әртүрлі аймақтарында ұсынылған, ал көлденең қималарда алынған дәндердің өлшемдері. Жұқа қабырғалы бөлшектерді материал көзі мен LMD сым беру процесінің жылу тарихы негізінде төрт микроқұрылымдық аймаққа бөлуге болады, яғни. негізгі металл аймағы (BM), материалдың ұлғаю аймағына жататын AM (AR) аймағы, негізгі металл балқитын балқу аймағы (FR) және арасындағы өтпелі аймақтағы жылу әсер ету аймағы. LMD бөліктеріндегі екі балқу аймағы дөңгелек қисық пішінге ие болды, бұл моль-он бассейнің LMD процестерінде өткізгіштік режимі болғанын және жарықтар мен тесіктер болмаған кезде жинақталған қабаттар мен негізгі металл арасындағы дыбыстық металлургиялық байланыс алынғанын көрсетті. LMD бөлігі үшін FZ тереңдігі шамамен 428 мкм, ал сәйкес ені шамамен 3641 мкм болды, ал MD бөлігі FZ ~452 мкм және ~ 4102 мкм енін көрсетті. Жауын-шашынның екі бөлігіндегі AR біркелкі қабатты құрылымды көрсетті, LMD бөліктерінің орташа ені сәйкесінше 2958 мкм және 3167 мкм құрады, ал қабаттың екі орташа биіктігі де Z өсіміне тең болды.

3.2. Жалғыз моншақтар

LMD бөлігінің біркелкі тұндырылған қабаттары жарықтар мен тері тесігі ақауларынсыз және ауада сақталған бөліктердің өлшемдерімен салыстырғанда ұқсас сипаттамалары LMD процесінде пайда болған тұрақты жергілікті құрғақ қуыс және 3D жұқа қабырғалы бөлік су ортасында LMD сым беру технологиясымен сәтті дайындалғанын көрсетті. Екі үлгінің газында ұсақ тең осьті (20-120 мкм) дәндер байқалды; FR және екі бастапқы Ar қабаттарында HAZ және FR немесе алдыңғы шөгінді қабаттар арасындағы бірігу сызығында пайда болған бағаналы түйірлері z бағытына қатысты эпитаксиалды түрде қалыптасып, өсті. LMD үлгісінің төменгі қабатында орташа ұзындығы 757 мкм және ені 177 мкм болатын ұсақ бағаналы дәндер пайда болды, ал үшінші қабаттан бағаналы дәндер үлкейіп, тіпті бірнеше тұндырылған қабаттардан өтті

LMD бөлігінің төменгі шеті дәндердің ұқсас таралуын көрсетті, бірақ бағаналы LMD бөлігінің сол аймағына қарағанда аз болды. LMD үлгісінің орташа, аз мөлшерде эквивалентті дәндер (орташа диаметрі 207 мкм) бағаналы дәндерден басқа, LMD үлгісінің орташа AR өлшемдеріне ұқсас болды. Суретте көрсетілгендей, LMD үлгісінің жоғарғы бөлігінде беткі аймақта эквивалентті дәндер пайда болды. LMD бөлігінде эквивалентті дәндердің саны артып, бағаналы дәндердің мөлшері де азайды. Сонымен қатар, процесінің

параметрлері. Түрлі су асты саптамаларының көмегімен LMD бөлшектерінің пайда болуы.

Зерттеу нәтижелері LMD-де балқытылған ваннаға көміртектің аллотропты модификациясын қосу алынған үлгілердің механикалық қасиеттерінің едәуір жоғарылауына әкелетінін көрсетеді, бұл осы әдістің болашағын көрсетеді. Жұмыстың авторлары көміртегі талшықтарымен модификацияланған пі негізіндегі металл ұнтағын лазерлік балқыту арқылы алынған карбидті үлгілері металл көлемінің ұлғаюын көрсетті. Металды үлгілерді жасау кезінде балқыту ваннасына қосу оксикарбидтердің түзілуі есебінен тозуға төзімділікті арттыруға мүмкіндік берді. Ерте зерттеулер бөлшектерінің орташа мөлшерінің жоғарылауы салқындату жылдамдығының жоғарылауымен байланысты екенін көрсетеді. Бұл жағдайда монокристалдардың өсуінің негізгі шарттарының бірі температура градиенті болып табылады. Лазермен қыздыру жылдам процесі болып табылады және жоғары локализацияға ие, бұл базаның суық массасына қарқынды жылу беруді тудырады. Бұл жағдайлар классикалық қыздыру әдістерімен қол жетімді емес құрылымдық фазалық түрлендірулерді жүргізуге мүмкіндік береді. Хром мөлшері жоғары шойын құймаларын зерттеуге арналған көптеген зерттеулер дәл олардың құрылымындағы бастапқы және эвтектикалық карбидтерді зерттеуге бағытталған. Металл құрылымындағы бастапқы карбидтер алтыбұрышты, ал олардың қаттылығы 10-20 ГПа аралығында болатындығы анықталды. Зерттеу нәтижелері гипоперейтектикалық жоғары хромды шойында ядро-қабық құрылымының карбидтерінің болуын көрсетеді. Термиялық өңдеу әдістері карбидтердің фазалық және химиялық құрамын басқаруға болатындығы көрсетілген. Термиялық өңдеу әдістерін қолдана отырып, $\text{Cr}_7\text{C}_3 \rightarrow \text{Cr}_{23}\text{C}_6$ түрлендіруге болады, бұл жағдайда Трансформация Cr_7C_3 бастапқы Карбид орталығынан немесе шеткі бөліктерінен басталуы мүмкін.

Хром карбидтерінің механикалық қасиеттері мен қаттылығын және сандық модельдеу эксперименталды зерттеулер жүргізілді. Сонымен қатар, сандық модельдеу әдістері карбидтердің қаттылық мәні эксперименталды мәндерден едәуір жоғары болуы мүмкін екенін көрсетеді. Карбидтердің қасиеттері олардың пайда болу жағдайларына байланысты. Үлкен деректер базасы жинақталған, оның ішінде конверсия механизмдері, құрамы, құрылымы және карбидтердің қасиеттері қысыммен импульсті электр тоғымен синтездеу арқылы алынған қорытпалар құрылымында газды вольфрамды доғалық дәнекерлеу және ұнтақты металлургиямен күйдіру, сондай-ақ термиялық өңдеудің карбидтер торының химиялық құрамы мен түріне әсері зерттелді. Көміртектің аллотропты модификацияларының бірімен қосымша қосылған жаңа қорытпаларды практикалық қолдану тұрғысынан, бұл оң және теріс салдарға әкелуі мүмкін.

жабындарының беріктігі едәуір артты, бірақ жабындардың икемділігі төмендеді. Авторлар мұны Лавестің қатты, бірақ нәзік фазасының қалыптасуының жоғарылауымен түсіндірді. Лазерлік тұндыру кезінде нанотүтікшелер никель негізіндегі супер қорытпаға қосылды. Қорытпаның тозуға төзімділігі негізгі металл матрицасындағы МК типті карбидтерге байланысты жоғарылаған. қатты карбидтердің жоғары хромды шойынның тозуға төзімділігіне әсерін зерттеді.

Дәнекерлеу процесінде ферробор құрамының жоғарылауы бор мен хром негізіндегі карбидтердің пайда болуымен қорытпаның тозуға төзімділігін арттыратынын көрсетті. Авторлар титан карбидімен қорытпаларды қосымша легирлеу мүмкіндігін көрсетті және бастапқы карбидтерінің түзілу процесіне және морфологиясына әсер ететінін анықтады. Бөлшектері карбидтерінің ішінде екендігі және қосымша беріктендіруді қамтамасыз ететіндігі көрсетілген. Негізгі металл матрицасында таралған кез-келген түрдегі қатты карбидтер микроқұрылымға тозуға төзімділігі мен балқымалардың сынуына төзімді әсер етуі мүмкін екенін көрсетті. Карбидтердің бірдей түрі қасиеттері бойынша әр түрлі болуы мүмкін, әсіресе CR жоғары шойындардың эрозияға төзімділігі. Карбид қабаттарының қасиеттері әртүрлі болуы мүмкін. Бұл жағдайда карбидтердің морфологиясы мен құрылымы салқындату немесе термоөңдеу процесінде $M7C3 \rightarrow M23C6$ өзгеруі карбидінің морфологиясы аустениттік тот баспайтын болаттан жасалған дәндердің шекаралық сипаттамаларына дәл әсер ететіндігін көрсетті. Алайда, LMD процесінде CFS модификациясына негізделген жаңа әдіспен пайда болған $(Cr, Fe)7c3$ және $(Cr, Fe)23c6$ типті карбидтер нашар зерттелген және LMD көмегімен пайда болған Карбид фазаларының түрлерін жүйелеу жоқ. Осылайша, бұл жұмыс бұрын басқа әдістермен алынған $(Cr, Fe)7c3$ және $(Cr, Fe)23c6$ типті карбидтер туралы білімді толықтыруға арналған. Жұмыстың мақсаты жүйесінде қалыптасқан Карбид фазаларын қалыптастыру, трансформациялау және жүйелеу жағдайларын талдау болды.

3.3 Бір қабатты, бір жақты

Микроқұрылымның эволюциясы $\alpha\text{-Ti-6Al-4V}$ бөлшектерінің микроқұрылымы, әр түрлі жылу көздерін, технологиялық параметрлерді және құрылыс стратегияларын қолдана отырып, негізінен блок, пластина және пластина тәрізді пішінді фазаны қамтиды, олар себетті, колонияны немесе Видманстеттенқұрылымды, әр түрлі масштабтағы ине мартенситяны және терезидуальды фазаны құрайды. Ti-6Al-4V қорытпасының LMD процесінде микроқұрылымның өзгеруін зерттеу және су ортасының балқытылған металға әсерін талдау. LMD бөлігінің әртүрлі қабаттарында микроқұрылымдық үлестірімдер көрсетілді. LMD бөлшегінің бірінші қабатында микроқұрылым анықталды, онда дәндер шегінде ине мартенситезі байқалды.

Олардың мөлшеріне және нуклеация жағдайына сәйкес α -мартенситті үш түрлі жіктеуге бөлуге болады. бір-біріне параллель ламелалары орташа ені 0,84 мкм және ұзындығы 224,68 мкм, ал ені 0,44 мкм және ұзындығы 10,84 мкм болатын іргелес ламелалары арасында шекарасында пайда болды және ортогональды түрде өсті. Екінші реттік Мар-тензиттер арасында ең жұқа терций мартенситтері пайда болды. Суретте көрсетілгендей. LMD бөлігінің жетінші қабатындағы микроқұрылым негізінен матрицада бөлінген бастапқы және латифазадан (орташа ұзындығы 10,6 мкм және орташа ені 2,72 мкм) тұрды. Сонымен қатар, көршілес жазбалардың арасында інжір бар. 5.1 типті шүмекті пайдалана отырып ГЖКЖ процесінің принциптік схемасы: (а) бастапқы кезең; судың кері ағыны; қорғаныс аймағының ішінде. үлгідегі саптаманы пайдалана отырып қорғаныш аймағының ішінде.

Бірінші қабатпен салыстырғанда жетінші қабатта тек примария пайда болды, ал мартенситяның саны айқын өсіп, фазаның қалыптасуы жеделдетілді. Он бесінші қабатта себеттің тоқуы дерлік байқалмады және LMD үлгісінің орта аймағында микроқұрылымның негізгі түрі болып табылатын қабаттараралық жолақтардан (ұзындығы 2,11–23,34 мкм және ені 0,17–1,13 мкм) тұратын себеттің тоқу құрылымы ұсынылды. Пластиналы немесе өзекті формада тұратын су астындағы тұндырылған металдың жиырма екінші қабатындағы микроқұрылымдар да себеттің тоқу құрылымын кеңейтіп, кеңейтті; алайда, бірінші қабаттағы олармен салыстырғанда, осы қабаттағы пластинаның немесе өзектің ұзындығы (0,82–9,04 мкм) төмендеді, ал ені (0,47–1,22 мкм) біршама өсті. Кейбір пластиналар шекарасында пайда болды және бір-біріне параллель өсіп, колония құрады.

Сонымен қатар, параллель "ламелалар" арасында себеттің тоқу құрылымы пайда болды-екінші қабат және латиавер. LMD-нің бүкіл бөлігінде микроқұрылымдар әртүрлі мөлшердегі спиральдардан, сондай-ақ матрицаның ішіндегі колониялар мен себет құрылымдарынан тұрды және төменгі жағынан тұндырылған металдың жоғарғы аймағына бірдей таралу тенденциясына ие болды. Алайда, ауа мен су сынамаларының бірдей аймақтарында аңд фазасының мөлшері мен мөлшері әр түрлі болды. LMD бөлігінің бірінші қабатында микроқұрылымдар негізінен суретте көрсетілген бастапқы, екінші және үшінші мартенситтер болды. LMD бөлігінің осы аймағына ұқсас; бірақ примарияның ұзындығы (орташа ұзындығы 32,52 мкм) күрт төмендеді және лативалардың аз мөлшері байқалды. Суретте көрсетілгендей. ULMD бөлігінің жетінші қабатында көптеген ламелалардан тұратын себет тоқу құрылымы пайда болды (ұзындығы~6,44 мкм және ені ~ 0,68) және аз ғана бөлігі табылды. LMD бөлігінің ортаңғы аймағында микроқұрылымдар сол аймаққа қарағанда анағұрлым өрескел бет пен өзек (0,54–1,39 мкм) болды. LMD бөлігінің төменгі аймағы; LMD бөлігінің орта аймағы; LMD бөлігінің жоғарғы аймағы. LMD бөлігінің ауданы; осы уақытта суретте көрсетілгендей кейбір агранулалар мен қалдық фаза байқалды. LMD жоғарғы аймағындағы микроқұрылымдарды көрсетеді. Бұл аймақта микроқұрылым негізінен параллелингор немесе көмегімен түзілген теаколоний және себет тәрізді құрылымдар болды, сонымен қатар қалдық фазаның аз мөлшері болды және LMD-ден өзгеше түрде пайда болмады. Ауа ортасы төменгі және жоғарғы аймақтарда а фазасының пайда болуына және орта және жоғарғы аймақтарда а фазасының өзгеруіне жол бермеді; Дәндердің өсуі және микроқұрылым эволюциясының механизмдері қорытпасының аддитивті өндірісінің бөлшектеріндегі астық морфологиясы материалдың қатаю жылдамдығымен анықталды. LMD әр түрлі бөліктеріндегі астық Өлшемдері: бағаналы дәннің ұзындығы; бағаналы дәннің ені; тең осьтік дәннің диаметрі. LMD бөлігінің төменгі аймағындағы микроқұрылымдар.

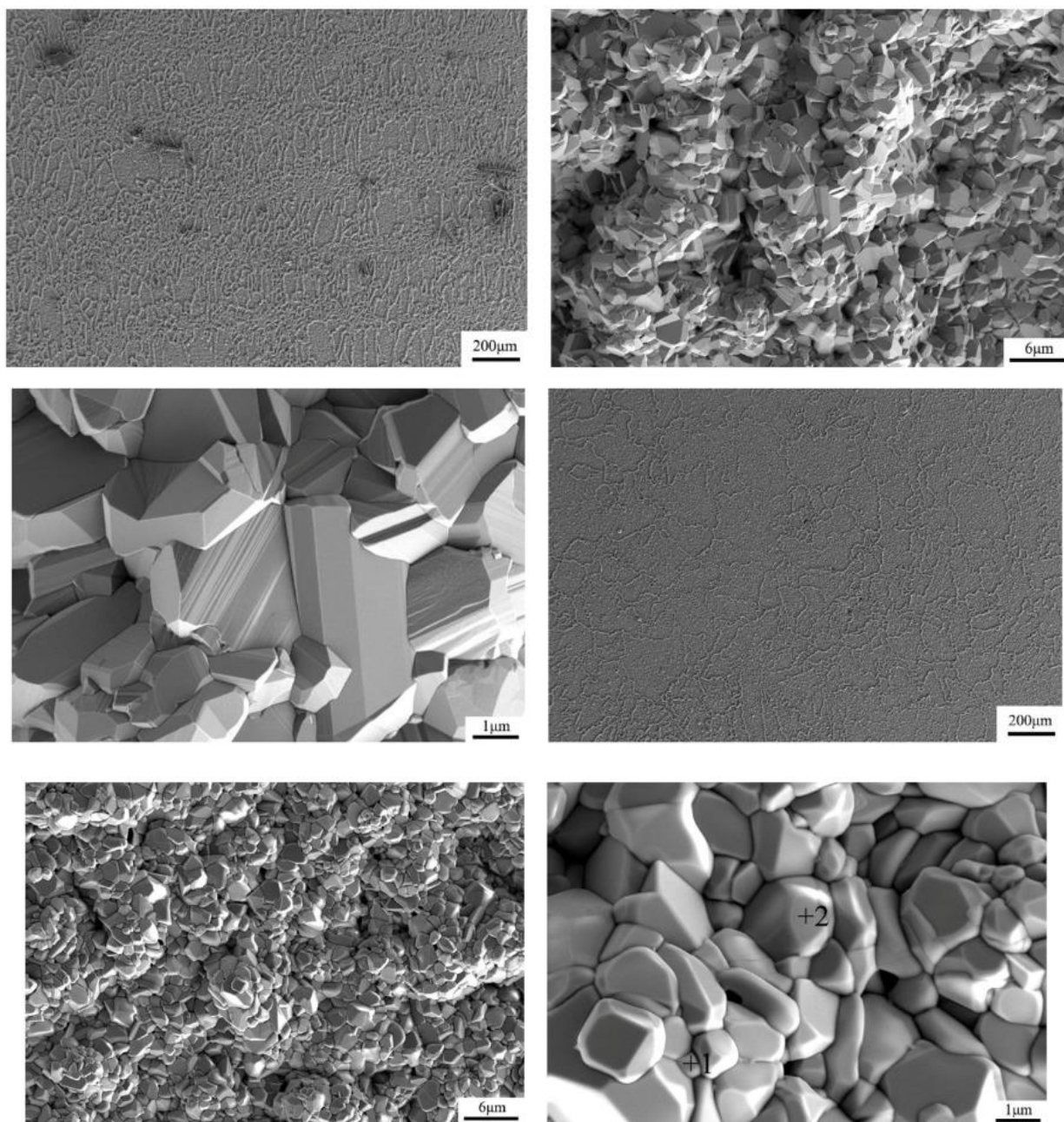
Бөлу шекарасы қатты / сұйық және жылу градиенттері, және төмендеуі бағаналы эквивалентті ауысуға ықпал етуі мүмкін деп саналады. LMD процесінде FZ және dz төменгі аймағындағы жылу шығуы негізгі металл арқылы жүзеге асырылды, бұл басқа тұндырылған металл аймақтарымен салыстырғанда G-ге көбірек әкелді; осылайша, балқу сызығында пайда болатын және жылу ағынына қарама-қарсы өсетін бағаналы дәндер пайда болды, бұл суретте көрсетілгендей эпитаксиалды өсуге қолайлы қатаю жағдайларына байланысты болды. Дәнді дақылдар әрқашан өздерінің өсу бағыттарына ие болды, ал бағаналы априорлы дәндер үшін (OSK құрылымы) өсудің қолайлы бағыты болды. Максимальды G бағытына параллель өсу бағыты бар алдыңғы бағаналы дәндер

катаю процесінде оңай өседі және біртіндеп максималды G-ден едәуір ауытқып кететін жеңіл өсу бағыты бар дәндермен ауыстырылады.

Бұл бәсекеге қабілетті өсу режимі бағаналы дәндердің санын азайтып, суретте көрсетілгендей бастапқы екі қабаттағылармен салыстырғанда LMD бөліктерінің төменгі аймағында олардың мөлшерін арттырды. Ерітілген бөлшектер жағдайында төменгі аймақтағы жылу ағыны жылу өткізгіштік режимі түрінде VM арқылы өтті және суретте көрсетілгендей ғимарат биіктігінің жоғарылауымен металл-Z бағыты бойынша өзгерді. Жылу шығару жылдамдығын төмендетеді. Сонымен қатар, аддитивті өндіріс процесінде жылу біртіндеп балқытылған металда жинақталды, бұл g-нің біртіндеп төмендеуіне әкелді, LMD бөлігінің ортаңғы аймағында G-дің кішірею күші, содан кейін FIG азаяды. ТЖӨБ бөлігінің орта аймағындағы микроқұрылымдар: а) он бесінші қабат; б) облыстардың ұлғаюы жиырма екінші қабат; г) жиырма екінші қабат. ТЖӨБ бөлігінің жоғарғы аймағындағы микроқұрылымдар: облыстардың ұлғаюы

G-Ni матрицалық фазасының аз мөлшерін анықтауға болады, өйткені рентген сәулесі оксид пленкасы арқылы өтіп, рентген сәулесінде матрицаға жетуі мүмкін. LMD K648 суперқорытпа оксидінің беткі фазалары K648 суперқорытпасының тотыққан бетіне ұқсас. Алайда, γ -Ni дифракциялық шыңының қарқындылығы K648 супер қорытпасынан күшті, бұл LMD оксидінің қалыңдығы супер қорытпасымен салыстырғанда жұқа екенін көрсетеді.

Біздің зерттеулерде қолданылатын K648 супер қорытпасындағы Cr мөлшері 25% - дан асады, ал тотығу температурасы 900 °C құрайды, сондықтан супер қорытпасының тотыққан бетінде никель оксидтері пайда болмайды. LMD k648 супер қорытпасының тотыққан бетінің рентгенографиясының нәтижелері 100 сағат ішінде келтірілген. γ -Ni фазасының қарқындылығы төмендейді, ал Cr₂O₃ және TiO₂ фазаларының тығыздығы едәуір артады, бұл тотыққан беттің негізінен Cr₂O₃ және TiO₂ фазаларынан тұратындығын көрсетеді. XPS тотығу бетіндегі химиялық құрамды сапалы талдау үшін пайдаланылуы мүмкін, себебі анықтау тереңдігі XRD-ге қарағанда аз. 100 сағат ішінде LMD және EHLMD k648 суперқорытпа бетінің XPS тотығу нәтижелерін көрсетеді, сілтеме шыңы ретінде C XPS нәтижелеріндегі im тазалығының элементі болып табылады және оның байланыс энергиясы 284,5 эВ құрайды. Сыртқы тотыққан беттің XPS элементінің таралу нәтижелерінен негізінен Cr, Ti және O табылған, ал ni элементімен байланысты дифракция шыңы жоқ, бұл тотыққан бет негізінен Cr₂O₃ және TiO₂-ден тұратындығын көрсетеді. Осылайша, рентгенография нәтижелерінің дәлдігі расталады.



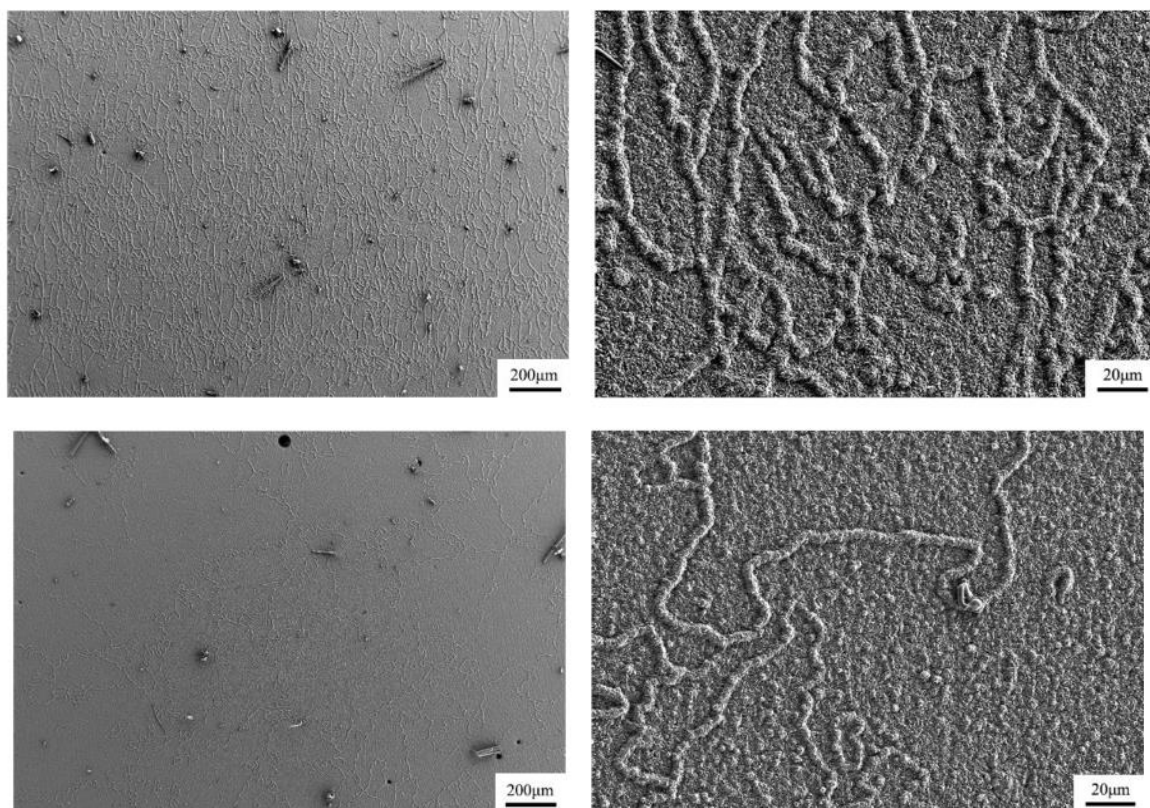
10-сурет LMD k648 суперқорытпасының (A), (b) және (c) тотығуынан (A), (e) және (f) кейін тотыққан беттің морфологиясы;

Жалпы алғанда, тығыз, үздіксіз және тығыз байланысқан оксид пленкасы қорытпаның Жоғары температуралы тотығуға жоғары қарсылығын қамтамасыз ететін негізгі фактор болып табылады. Жоғары температуралы тотығу процесінде сыртқы оксид қабатының пайда болуы оңай тотығатын элементтердің (мысалы, Cr, Al және т.б.) селективті тотығуы нәтижесінде пайда болады.

Элементтер матрицаның бетінде оксид қабатын түзе алады, ол матрицаны тиімді қорғайды және оның одан әрі тотығуына жол бермейді. Көлденең морфологияны талдаудан TiO_2 , Cr_2O_3 және Al_2O_3 оксид қабатының түзілуі LMD және LMD k648 супер қорытпасының Жоғары температуралы тотығуына

тамаша қарсылықты сақтаудың негізгі себебі болып табылады.

Реакция белгілі бір температурада өздігінен жүруі мүмкін, Гиббс бос энергиясының өзгеру шамасы (ΔG) термодинамика ережелеріне сүйене отырып нөлден аз болады. ΔG 0-ден 1200 °C-қа дейінгі реакциялар туралы мәліметтер суретте келтірілген. 17. Алынған нәтижелер осы оксидтердің реакциялары 900 °C температурада, осы зерттеудің сынақ температурасында өздігінен жүруі мүмкін екенін көрсетеді, өйткені бұл оксид реакцияларының ΔG мәні теріс. Жоғарыда келтірілген эксперименттік нәтижелер мен талдауларға сүйене отырып, суретте көрсетілгендей, Жоғары температуралы тотығу процесінде LMD K648 супер қорытпасының тотығу механизмдері орнатылды. 18. Тотығудың басында оттегі молекулалары матрицаның бетіне адсорбцияланады және оттегі атомдарына ыдырайды. Бұл оттегі атомдары Ti-мен реакцияға түсіп, Ti-ге бай оксидтер түзеді, өйткені Ti матрицаның бетіне диффузияның ең жоғары коэффициентіне ие. Содан кейін Cr сыртқа таралады және матрицаның бетінде Cr₂O₃ оксидін құрайды. Сонымен қатар, ал суретте көрсетілгендей, ішкі тотығу түрінде матрицадағы O-мен әрекеттеседі. Бұл кезеңде тотығу кинетикасы негізінен газ/қорытпа шекарасындағы Ti, Cr, Al және O химиялық реакциясымен басқарылады. Сондықтан, осы кезеңде массаның өсуі тез артады.



11-сурет LMD k648 суперқорытпасының (а) және (б) 10 сағаттық тотығуынан кейінгі беттің морфологиясы; (в) және (г) LMD суперқорытпасы.

Қорытпадағы Cr мөлшері Ti және Al-ге қарағанда едәуір жоғары болғандықтан, тотығу уақытының жоғарылауымен матрицаның бетінде жұқа, тығыз және үздіксіз Cr₂O₃ пленкасы пайда болады. Осыдан кейін бөлім шекарасы түзіледі оксид пленкасы/матрица, ал оттегі атомдары алдымен Cr₂O₃

оксид пленкасына еніп, содан кейін бетіндегі басқа элементтермен әрекеттесуі керек. Оксид пленкасы қалың болған сайын диффузиялық бақыланатын тотығу реакциясының жылдамдығы баяулайды, Сонымен қатар, тотығуға төзімділіктің жақсаруы интерфейске жақын жерде Al_2O_3 сына тәрізді оксидінің пайда болуымен байланысты болуы мүмкін, бұл оксид қабаты мен матрица арасындағы байланыс.

3.4. Бірнеше қабат: аддитивті өндіріс

Төмен жылу шығару мен жұқа микроқұрылымдардың арқасында металды лазерлік тұндыру процесі LMD қазіргі уақытта қалыптарды дайындауда кеңінен қолданылады. Сонымен қатар, дәстүрлі қалыптау процестерінен (мысалы, өңдеу, соғу және құю) Алынған бөлшектердің бетіне LMD әдісімен әртүрлі металдарды қолдануға болатындықтан, дәстүрлі формалар формалардың сенімділігі мен функционалдығын едәуір арттыратын функционалды құрылымдарды құру үшін қалпына келтірілуі немесе жөнделуі мүмкін.

Ең бастысы, LMD процесін қалыптау процестеріне тікелей біріктіретін гибриді қалыптау процестері керемет механикалық және функционалды құрылымдары бар компоненттер жасай алады. Мысалы, кейбір кесілген пішіндер және ыстық штамптау формалары жоғары сапалы және жоғары дәлдікпен LMD-мен байланысты гибриді қалыптау процестерін қолдана отырып жасалды және қалыптардың ішіндегі функционалды аяқталған құрылымдар дәстүрлі қалыптармен салыстырғанда қалыптардың өнімділігі мен қызмет ету мерзімін едәуір арттыратыны расталды. Осылайша, LMD әдісі формаларды жасау саласында революциялық инновацияларды бастау үшін үлкен әлеуетке ие. Бетінің қаттылығы мен құрылымдық беріктігі қалыптың қызмет ету мерзіміне және оның жарамсыздығына әсер ететін екі негізгі фактор болып табылады. Жоғары беттік қаттылық формасы ұзақ мерзімді механикалық тозуға төтеп бере алады, қызмет мерзімін едәуір арттырады; сонымен бірге жоғары құрылымдық беріктігі бар форма күрделі кернеулерге төтеп бере алады, бұл оның сенімділігі мен сенімділігіне кепілдік береді. Көптеген зерттеулер бұл қасиетті қосылыстар мен микроқұрылымдарды бақылау арқылы алуға болатындығын растады бірақ бір уақытта оңтайлы қосылыстармен және микроқұрылымдармен пішіндерді жобалау немесе жасау қиын.

LMD пішінінің технологиялық параметрлерін басқару арқылы берілген қосылыстар мен микроқұрылымдар дәл нүкте-нүкте және металл-металл принципі бойынша жасалуы мүмкін және жоғары беттік қаттылық пен құрылымдық беріктігі бар қанағаттанарлық пішінді жасауға болады. LMD технологиясын қолдана отырып, қалыптарды жасаудың қарапайым стратегиясы- тот баспайтын болаттан және қатты қорытпалардан жасалған аралас ұнтақтарды тікелей қолдану. LMD процесі арқылы қалыптарды жасау үшін түссіз AISI 420 Болат ұнтағымен араластырды, ал алынған қалыптардың коррозияға төзімділігі VC қоспай-ақ айтарлықтай жақсарды. Сол сияқты, LMD көмегімен AISI 420 тот баспайтын болаттан жасалған ұнтақпен жасалған пішіндердің қаттылығы Fe-C-

Cr-nb-V-Mo Болат ұнтағын қосқаннан кейін 30% - ға артты. Алайда, көрсетілген формалардың қасиеттеріне ұнтақты араластырудың біркелкілігі әсер етуі мүмкін, ал химиялық қосылыстардың реттелмеген таралуы формалардың гетерогенді механикалық қасиеттеріне әсер етуі мүмкін. Кейбір сынғыш интерметалдық фазалар.

LMD процесінің жоғары жылдамдықтағы лазермен толтырылуы кезінде де пайда болуы мүмкін, ал интерметалдық фазалардың біркелкі бөлінбеуі қалыптардың деформациялық сипаттамаларында үлкен айырмашылықтарға әкелуі мүмкін. Әсіресе үлкен көлемді қалыптарды өндіруде гетерогенді деформация сипаттамалары қалыптардың беткі сапасы мен дәлдігін нашарлатып, жарықтар пайда болу қаупін арттыруы мүмкін. Тұндырылған материалдардың химиялық құрамы бекітілген кезде, микроқұрылымдар (мысалы, дәндердің фазалық таралуы және мөлшері) қалыптардың қасиеттерін бақылау үшін өте маңызды. Осы уақытқа дейін LMD процестерінің оңтайландыру параметрлері қалыптарды жасауда басты назарда болды. жауын-шашын қабаттарының қаттылығы сақталатын аустениттік фазаның болуына байланысты сканерлеу жылдамдығының жоғарылауымен төмендейді. Сондай-ақ, плакированные жолдары арасындағы ұзақ уақыт үзілуін қосу плакированные қабатында қатайтылған мартенситных құрылымдардың пайда болуына әкеледі, бұл үлкен пластикалық жақсаруына әкеледі деп ұсынды. Сонымен қатар, жұқа қабырғалы үлгілер үшін 200-350 HV қаттылығының өзгеруі микроқұрылымдық эволюциямен және LMD процестерінің жылу тарихымен тығыз байланысты екенін растады.

Пайдалану жағдайларын ескере отырып, қалыптар тозуға төзімділікті қамтамасыз ету үшін жеткілікті беттік қаттылықты ғана емес, сонымен қатар компоненттерді жасау кезінде соққылар мен деформацияларға төтеп беру үшін субстраттардың жеткілікті беріктігі мен икемділігін қажет етеді. Сондықтан, қалыптар мен субстраттардың беттерінің ерекше қасиеттерін бөлек қамтамасыз ету стратегиясы қажет және өзекті. Мартенситті тот баспайтын болаттар жоғары қаттылыққа ие, тозуға төзімді, коррозиялық және шаршау қасиеттеріне ие және дәстүрлі қалыптау болаттарының бетін ауыстыру үшін беткі қабат ретінде жарамды. Алайда, мартенситті тот баспайтын болаттардың LMD қабатының үлкен ауданы мартенситті түссіз болат пен қалыптау болатының сәйкес келмеуіне байланысты крекингке ұшырады, ал үлкен жылу кернеулері қалыптау кезінде тиісті буферлік қабатта сөзсіз пайда болады. 2019 жылы көршілес қабаттар арасындағы қалдық кернеулер аддитивті дайындалған ферритті-аустенитті болаттарда буферлік қабат құрылымын қалыптастыру арқылы едәуір азайтылуы мүмкін деген болжам жасалды.

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.

ҚОРЫТЫНДЫ

LMD саптамасын қолдана отырып, судың кері ағуына жол берілмеді және LMD процесінде пайда болған тұндырылған қабатты қоршап тұрған қорғаныс газының қабаты тұрақты жергілікті құрғақ қуысты құрып, TI-6AL-4V су астындағы жұқа қабырғалы бөлшектерді сәтті салды.

LMD бөлігі үшін алдыңғы бағаналы дәндер фюзеляж сызығында пайда болды және жылу ағынының бағытына эпитаксиалды түрде қарама-қарсы өсті, оның ұзындығы алдымен өсіп, содан кейін салыстырмалы өсу мен салқындату жылдамдығының төмендеуіне. Жоғарғы аймақта эквивалентті дәндер пайда болды, ал дәндердің саны мен мөлшері LMD бөлігіндегіге қарағанда азайды.

LMD үлгілерінің AR-нің төменгі жағында қалыптасқан әртүрлі мөлшердегі инелер мартенситтері; ұлғаюына қарай осажденного қабатының мартенситы бірте-бірте заменялись пластинчатыми, пластинчатыми және блочными нысандары қоспағанда, үстіңгі облысы болмады көптеген термиялық цикл.

LMD бөлігіндегі су ортасының салқындату әсеріне байланысты мартенситтің мөлшері мен ұзындығы артты, ал ені LMD бөлігінің сол аймағындағы енмен салыстырғанда төмендеді.

Диплом жазу барысында барлық қойылған мақсаттарға толық қол жеткізілді.

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

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН 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.

Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Жархын Бегис ,

Название: Үнімді дайындау кезінде Laser Metal Deposition аддитивті технологиясын қолдануды зерттеу

Координатор: PhD д-ф, қауым. профессор Бекен Арымбеков

Коэффициент подобия 1:0.1

Коэффициент подобия 2:0

Замена букв:0

Интервалы:0

Микропробелы:0

Белые знаки: 0

После анализа Отчета подобия констатирую следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

Обоснование:

допускается к защите

05.05.2021

Дата



Подпись Научного руководителя

Протокол анализа Отчета подобия

заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения

Заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения заявляет, что ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Жархын Бегис ,

Название: Өнімді дайындау кезінде Laser Metal Deposition аддитивті технологиясын қолдануды зерттеу

Координатор: PhD д-ф, қауым. профессор Бекен Арымбеков

Коэффициент подобия 1:0.1

Коэффициент подобия 2:0

Замена букв:0

Интервалы:0

Микропробелы:0

Белые знаки:0

После анализа отчета подобия заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения констатирует следующее:


- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, работа признается самостоятельной и допускается к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, работа не допускается к защите.

Обоснование:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

қолымен қабылдағандықтан жұмысқа қабылданды

Дата

 Подпись заведующего кафедрой /
начальника структурного подразделения


Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

допускаю к защите

Дата

05-05-2021.

 Подпись заведующего кафедрой /
начальника структурного подразделения

Метаданные





Название
Өнімді дайындау кезінде Laser Metal Deposition аддитивті технологиясын қолдануды зерттеу

Автор Научный руководитель
Жархын Бегис PhD д-ф, қауым. профессор Бекен Арымбеков

Подразделение
ИПАиЦ

Список возможных попыток манипуляций с текстом

В этом разделе вы найдете информацию, касающуюся манипуляций в тексте, с целью изменить результаты проверки. Для того, кто оценивает работу на бумажном носителе или в электронном формате, манипуляции могут быть невидимы (может быть также целенаправленное вписывание ошибок). Следует оценить, являются ли изменения преднамеренными или нет.

Замена букв		0
Интервалы		0
Микропробелы		0
Белые знаки		0
Парафразы (SmartMarks)		0

Объем найденных подоби

Обратите внимание! Высокие значения коэффициентов не означают плагиат. Отчет должен быть проанализирован экспертом.



25

Длина фразы для коэффициента подобия 2



6221

Количество слов



49209




Количество символов

Подобия по списку источников

Посмотрите список и проанализируйте, в особенности, те фрагменты, которые превышают КП №2 (выделенные жирным шрифтом). Используйте ссылку «Обозначить фрагмент» и обратите внимание на то, являются ли выделенные фрагменты повторяющимися короткими фразами, разбросанными в документе (совпадающие сходства), многочисленными короткими фразами расположенные рядом друг с другом (парафразирование) или обширными фрагментами без указания источника ("криптоцитаты").

10 самых длинных фраз

Цвет текста

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ И АДРЕС ИСТОЧНИКА URL (НАЗВАНИЕ БАЗЫ)	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
из базы данных RefBooks (0.00 %)		
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
из домашней базы данных (0.00 %)		
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
из программы обмена базами данных (0.00 %)		
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)

из интернета (0.00 %)



ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР

ИСТОЧНИК URL

КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)

Список принятых фрагментов (нет принятых фрагментов)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР

СОДЕРЖАНИЕ

КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)