

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

Рысбек Бақдәулет Сәбитұлы

«Бұйымдарды дайындау кезінде Laser Generation 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: «Бұйымдарды дайындау кезінде Laser Generation аддитивті технологиясын қолдануды зерттеу»

5B071200 – Машина жасау

Орындаған

Рысбек Бақдәулет Сәбитұлы

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 Рысбек Бақдәулет Сәбитұлы

Тақырыбы «Бұйымдарды дайындау кезінде Laser Generation аддитивті технологиясын қолдануды зерттеу»

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

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

Дипломдық жобаның бастапқы берістері бұйым жасау кезінде Laser Generation технологиясын қолдануды зерттеу

Дипломдық жобада қарастырылатын мәселелер тізімі

- a) *Технология Laser Generation технология сының құрылымын және алғашқы патентерді зерттеу*
- б) *Эксперименталдық бөлімі*
- в) *Нәтижелер және талқылау*

Ұсынылған негізгі әдебиет: 6 атау

Дипломдық жобаны дайындау
КЕСТЕСІ

| | | |
|--|--|---------|
| Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәліметтер тізімі | Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдері | Ескерту |
| Кіріспе. Жалпы аддитивті технологияларға шолу | | |
| Материалдар | | |
| Эксперименталдық бөлімі | | |
| Нәтижелер және талқылау | | |

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 _____ Рысбек Б. С.

Күні «__» _____ 2020 ж.

АҢДАТПА

Дипломдық жобада аддитивті технологиялардың ішіндегі Laser Generation процесінің жұмыс жасауын толық зерттелді қарастырылды. Laser Generation технологиясы - бірінші лазерлік құрылғы 1960 жылы Теодор Майманның көрсеткен импульсті рубин лазері болды.. Laser Generation процесі үш өлшемді қатты денелі модельдерді жасау үшін стандартты коммерциялық қолжетімді CAD/CAM бағдарламалық қамтамасыз етуді пайдалануға арналған.

Laser Generation процесінде жасалған бөлшектердің сынамалары келесідей. Толығымен тығыз металл түтіктер, каналдар, тақталар, төменгі I-сәулелер мен шыбықтар 316ss жасалған. Бұл бөліктер тегіс, тегіс және қабырға қалыңдығында біркелкі. Барлық бөліктер лазер сәулесінің осіне параллель тік (z) бағытта орналастырылды.

Қатты үлгілерден құралған құралдың қозғалыс траекториялары фокальды аймаққа түсетін металл ұнтағының бөлшектерін балқытатын лазерлік сәулемен бөлшектердің көлденең қимасын дәл қадағалау үшін қолданылады және қатаю кезінде бөлшектердің жазық көлденең қимасын білдіретін тұнбаларды құрайды. Бөлшекті аяқтағанға дейін көлденең қиманың бірнеше қабаты қалыптасады. Кәдімгі өңдеу осы бір қадамдық техникамен өтеді. Микроқұрылымдық ерекшеліктер өзектерді салқындату жылдамдығы K/c, ал пластин- K/c сыналған қорытпалар үшін 316ss, сондай-ақ Fe-25Ni қорытпалар үшін екенін көрсетеді.

АННОТАЦИЯ

В дипломном проекте рассмотрена полная работа процесса Laser Generation из аддитивных технологий. Технология Laser Generation-первое лазерное устройство стало импульсным рубиновым лазером, продемонстрированным Теодором Майманом в 1960 году.. Процесс Laser Generation предназначен для использования стандартного коммерческого доступного программного обеспечения CAD/CAM для создания трехмерных жестких моделей.

Пробы деталей, сделанные в процессе Laser Generation, выглядят следующим образом. Полностью плотные металлические трубы, каналы, плиты, нижние I-лучи и прутки изготовлены 316ss. Эти кусочки гладкие, гладкие и равномерно при толщине стенки. Все детали располагаются в вертикальном (z) направлении, параллельном оси лазерного излучения.

Траектории движения прибора из твердых моделей применяются для точного наблюдения поперечного сечения частиц лазерным излучением, выпадающим в фокальную зону, и образуют осадки, обозначающие плоское поперечное сечение частиц при затвердевании. До окончания детали образуется несколько слоев поперечного сечения. Обычная обработка проходит с этой пошаговой техникой. Микроструктурные особенности показывают, что скорость охлаждения стержней к/с, а пластин - К/с для испытанных сплавов 316ss, а также Fe-25Ni для сплавов.

ANNOTATION

The diploma project considers the full operation of the Laser Generation process from additive technologies. Laser Generation technology-the first laser device was a pulsed ruby laser, demonstrated by Theodore Maimann in 1960.. The Laser Generation process is designed to use standard commercial available CAD/CAM software to create three-dimensional hard models.

Samples of parts made in the Laser Generation process look like this. Fully dense metal pipes, channels, plates, lower I-beams and bars are manufactured by 316ss. These pieces are smooth, smooth and uniform with a wall thickness of. All parts are positioned in the vertical (z) direction parallel to the laser axis.

The trajectory of the device from solid models is used to accurately observe the cross-section of particles by laser radiation falling into the focal zone, and form precipitation that indicates a flat cross-section of particles during solidification. Several cross-section layers are formed before the end of the part. Normal processing takes place with this step-by-step technique. Microstructural features show that the cooling rate of the rods is K/c, and the plates are K / c for the tested 316SS alloys, as well as Fe-25Ni for the alloys.

МАЗМҰНЫ

| | |
|--|----|
| Кіріспе | 9 |
| 1 Жалпы аддитивті технологияларға шолу | 11 |
| 1.1 Материалдар | 15 |
| 1.2 Технология Laser Generation | 16 |
| 2 Эксперименталдық бөлімі | 19 |
| 2.1 Өндірістік модельдер | 22 |
| 3 Нәтижелер және талқылау | 25 |
| 3.1 Laser Generation өңделген үлгілердегі микроқұрылымдық талдау | 26 |
| Қорытынды | 30 |
| Пайдаланылған әдебиеттер тізімі | 31 |

КІРІСПЕ

Аддитивті технологияларды белгілі бір жолмен сипаттайтын көптеген анықтамалар бар. Жалпы, аддитивті технологиялар дегеніміз - (3D - сандық үлгіні қолдана отырып, өнімдерді қабат-қабат синтездеу немесе өнімді қабат-қабат өсіру) мүмкіндік беретін технологиялар (AM - Additive Manufacturing, AF-Additive Fabrication). [1,6] Бөлшектерді дайындаудың дәстүрлі технологиясынан айырмашылығы, дайындамадан материалды бөліп алу арқылы қоспа технологиясын қолдану дайын өнімді алу үшін қабат қабатын қосу арқылы бөліктің құрылысын қамтиды. Егер бөлшектерді өңдеудің дәстүрлі технологияларын қолданып өңдеу кезінде қалдық материалдар кейде 70% -дан асып кетсе, аддитивті технологияларды қолдану кезінде бұл көрсеткіш нөлге жетеді. Алғашқы қоспалық өндіріс жүйелері негізінен полимерлік материалдармен жұмыс істеді. Бүгінгі күні қоспалық өндірісті білдіретін 3D принтерлер олармен ғана емес, сонымен қатар инженерлік пластмассалармен, композициялық ұнтақтармен, түрлі металлдармен, керамикамен және құммен де жұмыс істей алады. Дайын өнімнің жақсартылған қасиеттері. Қабаттас құрылысының арқасында, бұйымдар бірегей қасиеттерге ие. Мысалы, металл 3D принтерде жасалған бөлшектер механикалық қасиетті, тығыздығы, қалдық кернеуі және басқа қасиеттері бойынша құю немесе механикалық өңдеу арқылы алынған аналогтерден асып түседі.

Laser Generation технологиясы - бірінші лазерлік құрылғы 1960 жылы Теодор Майманның көрсеткен импульсті рубин лазері болды. Сол жылы алғашқы газ лазері (гелий-неон лазері) және алғашқы лазерлік диод шығарылды. Рубин кристалының флуоресценциясының кванттық шығысын өзгерту мүмкін емес екенін түсінікті, себебі бұл оның іргелі қасиеті. Бірақ, екінші жағынан, проблема неден және оның мұндай төмен кванттық шығуы неден туындағаның қызықты болды. Laser Generation процесі үш өлшемді қатты денелі модельдерді жасау үшін стандартты коммерциялық қолжетімді CAD/CAM бағдарламалық қамтамасыз етуді пайдалануға арналған.

Laser Generation процесінде жасалған бөлшектердің сынамалары келесідей. Толығымен тығыз металл түтіктер, каналдар, тақталар, төменгі I-сәулелер мен шыбықтар 31 бсс жасалған. Бұл бөліктер тегіс, тегіс және қабырға қалыңдығында біркелкі. Барлық бөліктер лазер сәулесінің осіне параллель тік (z) бағытта орналастырылды.

Laser Generation процесі өңдеудің бір кезеңінде толық тығыз дерлік таза металл компоненттерді шығара алады. Қатты үлгілерден құралған құралдың қозғалыс траекториялары фокальды аймаққа түсетін металл ұнтағының

бөлшектерін балқытатын лазерлік сәулемен бөлшектердің көлденең қимасын дәл қадағалау үшін қолданылады және қатаю кезінде бөлшектердің жазық көлденең қимасын білдіретін тунбаларды құрайды. Бөлшекті аяқтағанға дейін көлденең қиманың бірнеше қабаты қалыптасады. Кәдімгі өңдеу осы бір қадамдық техникамен өтеді. Микроқұрылымдық ерекшеліктер өзектерді салқындату жылдамдығы 10^2 К/с, ал пластин- 10^4 К/с сыналған қорытпалар үшін 316ss, сондай-ақ Fe-25Ni қорытпалар үшін екенін көрсетеді.

1 Жалпы аддитивті технологияларға шолу

Индустриялық дамудың қазіргі қарқыны ең аз шығындарды қажет ететін және ең қысқа мерзімде аяқталатын өндірістік технологияларды таңдауды қажет етеді. Жаңа және озық технологиялармен қатар аддитивті технологияларды енгізудің қарқынды өсуін атап өтуге болады. Алайда, әзірлеумен және енгізумен қатар, осы технологияларды қолданумен байланысты бірқатар проблемалар бар. Аддитивті технологиялар дегеніміз не, олардың дәстүрлі әдістерден өзгешеліктері мен кемшіліктері қандай екенін анықтап көрейік.

Аддитивті технологияларды белгілі бір жолмен сипаттайтын көптеген анықтамалар бар. Жалпы, аддитивті технологиялар дегеніміз - (3D - сандық үлгіні қолдана отырып, өнімдерді қабат-қабат синтездеу немесе өнімді қабат-қабат өсіру) мүмкіндік беретін технологиялар (AM - Additive Manufacturing, AF-Additive Fabrication). [1,6] Бөлшектерді дайындаудың дәстүрлі технологиясынан айырмашылығы, дайындамадан материалды бөліп алу арқылы қоспа технологиясын қолдану дайын өнімді алу үшін қабат қабатын қосу арқылы бөліктің құрылысын қамтиды. Егер бөлшектерді өндеудің дәстүрлі технологияларын қолданып өндеу кезінде қалдық материалдар кейде 70% -дан асып кетсе, аддитивті технологияларды қолдану кезінде бұл көрсеткіш нөлге жетеді.

Қазіргі уақытта аддитивті технологиялар саласындағы көшбасшылар - 15-тен астам арнайы институттар ашқан және нарықтың 50% -дан астамын иеленген АҚШ. Жапония, Германия және Қытай. Қосымша өндіріс технологиялары кез-келген өнімді 3D компьютерлік модель негізінде қабаттарда шығаруға мүмкіндік береді. Нысанды жасаудың бұл процесі біртіндеп өндіруге байланысты «өсіру» деп те аталады. Егер басында дәстүрлі өндірісте барлығын артық мөлшерде кесіп тастасақ немесе оны деформациялайтын дайындамамыз болса, онда аддитивті технологиялар жағдайында жаңа өнім ешнәрседен (нақтырақ айтсақ, тұтынылатын аморфтан) тұрады. Технологияға байланысты объектіні әртүрлі қасиеттерді алу үшін төменнен жоғарыға немесе керісінше салуға болады.

Алғашқы қоспалық өндіріс жүйелері негізінен полимерлік материалдармен жұмыс істеді. Бүгінгі күні қоспалық өндірісті білдіретін 3D принтерлер олармен ғана емес, сонымен қатар инженерлік пластмассалармен, композициялық ұнтақтармен, түрлі металлдармен, керамикамен және құммен де жұмыс істей алады. Аддитивті технологиялар машина жасау, өнеркәсіп,

ғылым, білім, дизайн, медицина, құю өндірісі және басқа да салаларда белсенді қолданылады.

Аддитивті технологиялардың артықшылықтары:

Дайын өнімнің жақсартылған қасиеттері. Қабаттас құрылысының арқасында, бұйымдар бірегей қасиеттерге ие. Мысалы, металл 3D принтерде жасалған бөлшектер механикалық қасиетті, тығыздығы, қалдық кернеуі және басқа қасиеттері бойынша құю немесе механикалық өңдеу арқылы алынған аналогтерден асып түседі.

Үлкен шикізат үнемдеу. Аддитивті технологиялар сіздің өніміңізді өндіру үшін қажетті материалдың санын қолданады. Ал дәстүрлі дайындау тәсілдері кезінде шикізат шығыны 80-85% - ға дейін құрауы мүмкін.

Күрделі геометриялы бұйымдарды жасау мүмкіндігі. Аддитивті технологияларға арналған жабдық басқа тәсілмен алуға болмайтын заттарды өндіруге мүмкіндік береді. Мысалы, бөлшектің ішіндегі бөлік, немесе торлы конструкциялардың негізіндегі салқындаудың өте күрделі жүйелері (бұл құйма немесе қалыптау емес).

Өндірістің ұтқырлығы және деректер алмасуды жеделдету. Сызбалар, өлшеулер және үлкен үлгілер жоқ. Аддитивті технологиялар негізінде болашақ бұйымның компьютерлік моделі, оны санаулы минуттарда әлемнің басқа соңына жеткізуге болады — және өндірісті бірден бастауға болады.

Аддитивті өндірістің жалпы схемасын келесі ретпен бейнелеуге болады:

- CAD моделін дайындау.
- STL файлын жасау.
- 3D басып шығару.
- Қосымша өңдеу.
- Дайын өнім.

Аддитивті технологиялардың жіктелуін қарастырайық. Қазіргі уақытта АМ-технологиялары басып шығарудың бірнеше тәсілдерімен ұсынылған, олар бастапқы материалмен және оны салу принципімен ерекшеленеді (1-кесте).

1-кесте бастапқы материалға және оның жағдайына байланысты аддитивті технологиялардың жіктелуі.

| Материалдық жағдайы | Материалдар | Процесс |
|---------------------|-------------|-----------------------|
| Сұйық | Полимеры | Стереолитография (SL) |

| | | |
|---------------|--|--|
| | | Қабаттап балқыту объектілерін дайындау (FDM) |
| | | Ағынды басып шығару (IJP) |
| Ұнтақ тәрізді | Полимер, металл, керамика | 3D басып шығару (3DP) |
| | | Селективті лазерлік жентектеу (SLS) |
| | | Тікелей лазерлік жентектеу (DMLS) |
| | | Селективті лазерлік балқыту (SLM) |
| Қатты | Металлы | Laser Generation Электрондық-сәулелік балқыту (EBM) Металдарды тікелей басу (DMD) Дәл лазерлік қалыптау (LENS) |
| | Полимерлер, металдар, керамика және композитті материалдар | Орам материалынан объектілерді қабаттап дайындау (LOM) Еркін экструзиялық қалыптау (EFF) |

Бөлшекті қалыптастыру принципі бойынша аддитивті технологияларды дамытудың екі бағытын бөледі:

1. Бөлімнің қалыптасуы технологиялық жабдықтар платформасының жұмыс бетінде орналасқан материалдарды біріктіру арқылы жүреді (Bed deposition). Өндіріс аяқталғаннан кейін келесі бөлікті қалыптастыру үшін қолдануға болатын белгілі бір материал қалды.
2. Материалды тікелей орналастыру арқылы бөлшектерді қалыптастыру (Direct deposition). Дайын өнім қажетті температураға дейін қыздырылған материалдың арқасында қабат арқылы қабат түзіледі, ол арнайы тарату құрылғысынан жұмыс алаңына түседі.

Бұл процестер қоспалық өндіріске арналған жабдықтың көптеген түрлерінің негізі болып табылады. [11-13]

Бұл дипломдық жұмыста негізгі мақсат, Laser Generation технологиясындағы жұмыс жасау әдісін толықтай зерттеу болып табылады.

Аддитивті технология процесінің халық-аралық ISO стандарт терминологиясында, Бағытталған энергетикалық тұндыру (Directed Energy

Deposition (DED)) әдісінің негізінде жасалған Laser Generation технологиясы болып саналады.

Бағытталған энергетикалық тұндыру (Directed Energy Deposition (DED)) әдісі дегеніміз, ол тоғысқан жылу энергиясына материалды тұндыру шамасына қарай еріту жолымен пайдаланылады. Біріктірілген жылу энергиясын, атап айтқанда энергия көзін тұндыратын материалдарды балқытуға бағытталғанын білдіреді. Энергия көзі ретінде лазер, электрондық сәуле немесе плазмалық доғаны пайдаланылады.

Бағытталған энергетикалық тұндыру (Directed Energy Deposition (DED)) - бұл материалдарды тұндыруына қарай еріту және балқыту жолымен, металдарды 3D-басып шығарудың бірнеше ұқсас технологияларынан тұратын әдістеме. Ол жаңа бөлшектерді жасау үшін қолданылуы мүмкін, бірақ әдетте бүлінген компоненттерді жөндеу және қалпына келтіру үшін Directed Energy Deposition әдісін қолданылады.

3D металды басып шығарудың басты технологияларының бірі Directed Energy Deposition әдісі болып саналады. Сонымен қатар осы әдіс теңіз өнеркәсібінде, әуе-ғарыш және қорғаныс өнеркәсібінде де, және мұнай және газ сияқты негізгі өнеркәсіп салаларында қолданылады. Directed Energy Deposition әдісінің артықшылықтары мен шектеулерін, және пайдалану жағдайларын қарастырсақ.

Directed Energy Deposition әдісі, 3D-лазерлі балқытуды және бағытталған жарықты жасауды қоса алғанда, бірнеше түрлі атауларға ие. Бұдан басқа, Directed Energy Deposition әдісінде анықталған кейбір патенттелген технологиялар, өзара алмастырылады, олар: электронды-сәулелік аддитивті өндіріс (Sciaky), лазерлік инженерлік торлы құрылым (Optomec), тез плазмалық тұндыру (Norsk Titanium) немесе сым доғалық аддитивті өндіріс. Әрбір процесс сәл басқаша жұмыс істейді, дегенмен, олардың негізінде принциптері бірдей.

Directed Energy Deposition процесінде металл ұнтақ немесе сым түрінде жеткізілетін бастапқы материал беру шүмегі арқылы итеріледі, онда ол жылу көзі (көбінесе лазермен, сондай-ақ электрондық бұла немесе доға болуы мүмкін) балқытылады және жинақтау платформасына дәйекті қосылады. Жылу көзі де, беру шүмегі де арнайы жүйеде немесе роботталған қолмен құрастырылады. Бұл процесс әдетте материалдың қасиеттерін жақсы бақылау, және оны тотығудан қорғау үшін инертті газбен толтырылған герметикалық жабық камерада болады.

1.1 Материалдар

Directed Energy Deposition әдістемесінде металдардың көптеген түрлерін қолданады, соның ішінде:

- Титан қорытпалары
- Тот баспайтын болат
- Маринитті болаттар
- Құрал болаттар
- Алюминий қорытпалары
- Отқа төзімді металдар (тантал, вольфрам, ниоби)
- Никель Мыс
- Композиттер материалдар

Directed Energy Deposition әдістемесінде қолданылатын материалдар АМ ұнтақты металл ұнтақтарына қарағанда айтарлықтай арзан. Directed Energy Deposition әдісін көп жылдан бері қолданыста, және бірқатар артықшылықтарын айтап айтсақ:

- Бөлшектерді жөндеуге өте ыңғайлы: бөлшектің құрылымын басқару мүмкіндігі DED әдісі функционалды металл бөлшектерін жөндеуге жақсы шешімдер берді.
- Үлкен 3D-баспа бөлшектері: АМ металды ұнтақты өңдеу процестеріне қарағанда, әдетте жоғары айқындық ұсақ компоненттерді өндіретін, кейбір патенттелген DED әдістері үлкен металл бөлшектерін шығара алады, мысалы Sciaky әзірлеген электрондық-сәулелік аддитивті өндіріс технологиясы (EBAM), ұзындығы 6 метрден асатын бөлшектерді өндіруге қабілетті.
- Басып шығарудың жоғары жылдамдығы: Әдетте, DED машиналарында жоғары материалдың түсу жылдамдығы бар. Мысалы, кейбір DED процестері сағатына 11 кг металл жылдамдығына қол жеткізе алады.
- Аз материалдық қалдықтар: SLM және DMLS процестерінде, ұнтақ құрастыру платформасында таралып, содан кейін іріктеліп біріктірілгендіктен, бұл жиі қолданылмаған ұнтақтың көп мөлшерін қалдыруы мүмкін. Келісімшарттарда DED әдісімен тек қажетті мөлшерде материал сақталады. Қайта өңдейтін қоқыс жоқ болғандықтан, бұл материалды тиімді пайдалануға және шығындарды үнемдеуге әкеледі.
- Көп материалды мүмкіндіктер: DED көмегімен құрылыс процесінде арнайы қорытпаларды жасау үшін ұнтақтарды немесе сымдарды өзгертуге немесе араластыруға болады. Технологияны бір құрылымның

ішінде екі түрлі материалдың арасында градиент құру үшін қолдануға болады.

- Жоғары сапалы металл бөлшектер: DED ұқсас құйма немесе жақсы механикалық қасиеттері бар өте тығыз бөлшектерді шығарады. DED көмегімен жасалған бөлшектер, сондай-ақ дерлік, таза формаларға жетуі мүмкін, бұл олар шағын өңдеуді қажет етеді дегенді білдіреді.
- Гибридті өндірістік мүмкіндіктер: DED-гибридті өндірістік шешім жасау үшін өңдеу орталықтарына интеграциялау үшін жарамды металлдарды 3D-басып шығару технологиясының бірі. Көп осьтік өңдеу жүйесінде Балқыма қондырмасын орната отырып, өте күрделі металл бөлшектерін тез және жоғары икемді жасауға болады.

DED шектеулеріне мыналар жатады:

- Төмен ажыратылымдық: Тікелей энергияның сақталуымен шығарылатын бөлшектер төмен ажыратымдылыққа ие және беткі қабаты нашар өңделеді, осылайша қайталама өңдеуді қажет етеді, бұл бүкіл процестің уақыты мен құнын қосады.
- Тірек конструкцияларының болмауы: DED тірек конструкцияларын құрылуы жоқ, бұл белгілі геометриялы бөлшектер өндірісін шектейді.
- Құны: DED жүйелері әдетте өте қымбат, құны 500 000 доллардан асады.

1.2 Технология Laser Generation

Laser Generation технологиясы - бірінші лазерлік құрылғы 1960 жылы Теодор Майманның көрсеткен импульсті рубин лазері болды. Сол жылы алғашқы газ лазері (гелий-неон лазері) және алғашқы лазерлік диод шығарылды. Осы тәжірибелік жұмыстың алдында Артур Шавлов, Чарльз Хард Таунс, Николай Басов және Александр Прохоров лазерлік жұмыс қағидаттары туралы инновациялық теориялық еңбектерін жариялады, ал 1953 жылы Таунс тобы микротолқынды күшейткіш пен генератор (масер) жасады. «Оптикалық масер» термині бастапқыда қолданылған (MASER - радиациялық күшейту арқылы микротолқынды күшейту), бірақ кейінірек «лазермен» ауыстырылды.

Кванттық Күшейткіштер мен электромагнитті толқындар генераторларын құрудың принциптік мүмкіндігі 1916 жылы Альберт Эйнштейнмен дәлелденді. Бұл туралы Алексей Толстой өзінің әйгілі "Гиперболоид инженера Гарина" романында жазды. Индукцияланған сәулеленуді эксперименталды анықтаудың алғашқы әрекеті тек 1928 жылы жүзеге асырылды. Кванттық күшейту мен генерация принциптерін зерттеуге Кеңес одағының физиктері А.

Прохоров және Н. Басов елеулі үлес қосты. 1955 жылы бұл ғалымдар кванттық генератор-мазер жасап шығарды. Бұл азаюда, белсенді ортасы аммиак булары болатын индуцирленген сәуленің көмегімен микротолқынды күшейткішті білдіреді.

Американдық физик Теодор Мейман оптикалық жиіліктер саласында батыл жаңалық жасады. Бұл 10 мың және жиіліктегі миллион есе жиіліктегі өсіру болды, бірақ ешкім мұны соншалықты тез жасауға болады деп ойлаған жоқ. Мұндағы мәселе мүлдем жаңа жұмыс сұйықтығын - рубин кристалын және криогенді салқындатусыз қолдану болды. Осылайша, Мейман қазіргі заманғы аспаптар жасау дәуірінде батыл қадам жасады.

Мейман алғашқы қатты күйдегі лазерді 1960 жылы 16 мамырда жасап шығарды. Оның құрылғысындағы белсенді зат резеңке цилиндр тәрізді өзек болды, ал қоздыру оптикалық сорғымен (ламп фотовспышки) жүзеге асырылды. Рубин кристалындағы энергия деңгейінің кері санының өсуін қамтамасыз ету үшін шамдар өте жарқын қысқа импульстар режимінде жұмыс істеді.

Теодор Мейман қатты кристалдарды зерттеді. Кристалдардың негізгі тартымды қасиеті-қарапайымдылық. Газ разрядына қарағанда, кристалдың энергетикалық деңгейлерінің сұлбасы өте қарапайым. Оның ықтимал энергетикалық жай-күйінің саны салыстырмалы түрде аз, және жалпы кристалдың барлық параметрлері, оны лазер үшін орта ретінде пайдалану перспективаларын бағалау үшін қажет, есептеуге немесе өлшеуге болады. Кристалдардың басқа принципті артықшылығы-күшейтудің салыстырмалы жоғары коэффициенті. Сондықтан кристалды лазер ортасы арнайы айналарды әзірлеу мәселесінде туындаған қиындықтарды жоюын кристалды лазерлік шағын орталы болуы мүмкін. Шынында да, бірінші лазерде Теодор Мейман кристалды тек 2 см ғана пайдаландым. Керісінше, бірінші газ лазерінің күшейту коэффициенті соншалықты төмен болды, бұл лазер 60 см ұзындығында тіпті өте жоғары шағылысу коэффициенті бар айналарды пайдалану кезінде де жұмыс істей алмады. Оның ұзындығы 100 см-ге дейін ұлғайтылғаннан кейін ғана жұмыс істеді.

Қатты ортаны пайдалану идеясы Теодор Мейманды қызықтырды, себебі бұл жағдайда вакуумдық сорғыштармен, қоспалардың проблемасымен, газдармен жұмыс істеуге арналған аппаратурамен және айналарды түзету үшін күрделі тетіктермен жұмыс істеу керек емес. Теодор Мейман тікелей кристалға қарапайым күміс жабынды жаға алды, дәл кішкентай Рубин лазерінде жасағанымдай.

Рубин кристаллы су тәрізді мөлдір алюминий кристалл тотығына аз мөлшерде хром тотығы қоспасын қосу нәтижесінде пайда болады. Бағалы рубиндегі хром қоспасының құрамы шамамен 0.5% құрайды. Бірақ осындай аз мөлшерде хром тотығы тасқа қанық қызыл түс береді. Рубин кристалдары-ең қатты асыл тастардың бірі, одан тек алмаз қатты болып келеді.

Әртүрлі құрылғыларда, әдетте, қымбат емес, жасанды рубин қолданылады. Бақыланатын зертханалық жағдайларда, табиғи тастарға қарағанда, ешқандай жағымсыз қоспалар жоқ, әлдеқайда оптикалық дамыған кристалдарды өсіруге болады. Жасанды өсірілетін кристалдардағы хром концентрациясы қымбат рубинге қарағанда шамамен 10 есе азтаңдап алынады, сондықтан оның қызыл түсі ашық және ол қызғылт рубин деп аталады.

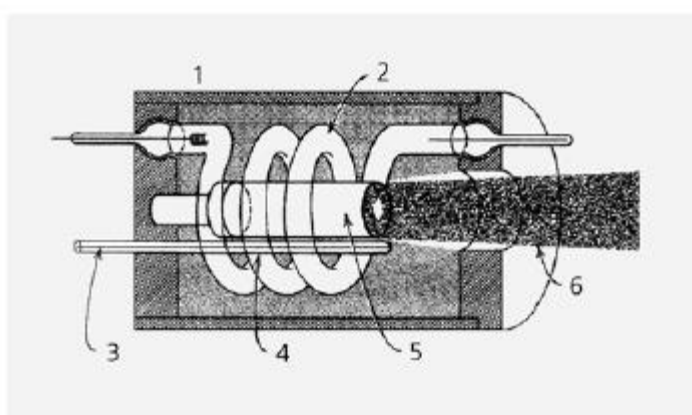


Схема рубинового лазера. 1 — полированный алюминий; 2 — лампа-вспышка; 3 — поджигающий электрод; 4 — кварцевая трубка; 5 — рубин; 6 — луч света.

1-сурет - 1960 жылдың шілдесінде баспасөз релизінде келтірілген және көптеген газеттер мен журналдарда қайта басылған алғашқы емес лазердің суреті

Рубин кристалының флуоресценциясының кванттық шығысын өзгерту мүмкін емес екенін түсінікті, себебі бұл оның іргелі қасиеті. Бірақ, екінші жағынан, проблема неден және оның мұндай төмен кванттық шығуы неден туындағаның қызықты болды.

Бұны дифракционды торы бар монохроматорда зертелді, ол оптикалық фильтр сияқты белгілі бір түсті сәуле шығарады, бірақ призмаға қарағанда дәлірек.

Рубинді таңдау себебі, рубин кристаллы көптеген қажетті қасиеттерге ие. Онымен жұмыс істеу ыңғайлы, өйткені ол өте тұрақты және қатты. Оның кең жұтылу жолақтары бар, оны энергия тасымалдау үшін пайдалануға болады,

және басқа кристалдарға карағанда, рубин лазері көрінетін жарық сәулелерін шығарады.

Рубинде козу энергиясының 99% неге жоғалатынын түсінсем, бұл рубиннің пайдалы сапасын сақтайтын басқа материалдарды табуға көмектеседі, бірақ сонымен қатар оларда рубинге тән қасиеті болмауы керек. Рубин флуоресценциясының кванттық шығуын өлшенді. Және өлшеуім бойынша, рубин флуоресценциясының кванттық шығуы Видер айтқандай 1% емес, 75% шамасында болды.

Теодор Мейман өте жарық шамды қолданды және GE компаниясы шығарған АН6 жоғары қысымды доғалы сынапты шам болды. Ол тек ең жарқын зертханалық көздердің бірі ғана емес, сонымен қатар спектрдің жасыл және көк-күлгін облыстарында энергия өндірді. Мұндай сәулелену рубинді қоздыру үшін өте қолайлы еді.

Теодор Мейман эллипсті цилиндрдің бір фокусында орналасқан АН6 шамы бар құрылғы сызбасын жасады; кішкентай рубин өзегі оның басқа фокусында орналасуы керек еді. Эллиптикалық рефлектор эллипстің фокустарының бірінде орналасқан жарықтың нүктелік көзі екіншісінде көрінеді. Теодор Мейман таза жылтырданған ішкі беті бар эллиптикалық цилиндрді пайдаланайын деп шешкен болатын.

Жарқыл шамдар туралы таба алған барлық каталогтарды мұқият қарап, тиісті шамдарды таңдады. Ең үлкен қарқындықтар GE компаниясы шығаратын үш FT-506, FT-503/524 және FT-623 жарық шамдары болды. Теодор Мейман есептеуім FT-506 ең кішкентай шамды пайдалана отырып та, шамамен екі-үш еселі қоздыру үшін арналған жарықтық сенімділігі бар лазерді алатынымды көрсетті. Оның қоректенуі үшін әлдеқайда аз қуат көзі қажет, ал кристалдың өлшемдері сынсыз болғандықтан, лазердің бірінші құрылымын осы шамды пайдалана отырып жасауға шешім қабылдады. Теодор Мейман ұзындығы 1 см қызғылт рубиннен текше дайындады. Кристалдың осі текшенің екі қарама-қарсы қырына перпендикуляр болды. Бұл текшені екі параллель пластиналар арасында орналастырып, осылай микротолқынды резонатор жасады. Резонатордың резонанстық жиілігі негізінен күйдегі рубин деңгейінің табиғи ыдырауының шамасына тең болды. Бұл төменгі деңгейлер негізінен рубин мазерінде қолданылады. Бұл қондырғы рубиннің негізгі жай-күйінің өзгеруін өлшейді.

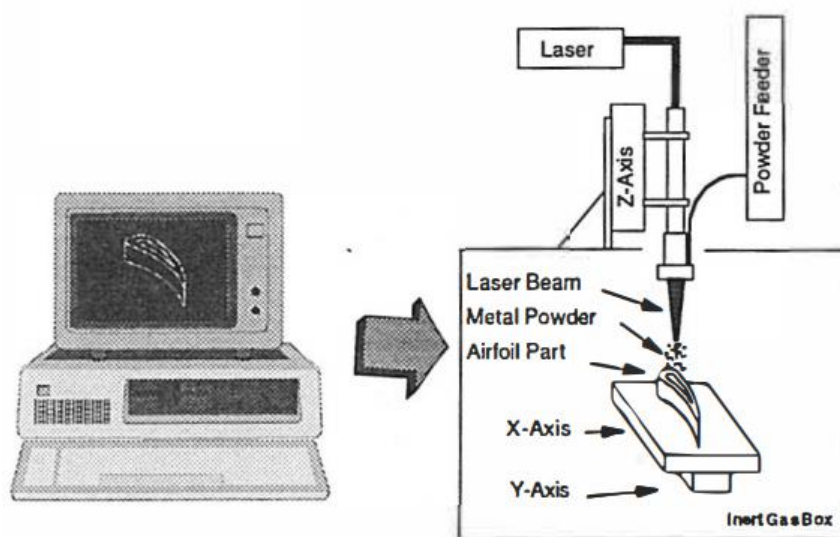
Теодор Мейман жылтыратылған кварцтық сырықты – өткізгіштің ұшымен басқа екі параллельді қырдың бірін біріктірді. Оның басқа соңы шаммен арқылы FT-506 мен қосылған. Текшенің параллель қырларының үшінші жинағы жарық толқындарының түрлі ұзындықтарында зондтау үшін

пайдаланылды. Теодор Мейман қысқа толқынды резонатордағы "жүктеме" бойынша рубиннің негізгі жай-күйін қадағалады, рубин мазерімен жұмыс істеу барысындағы зерттеулерімді пайдалана отырып, рубиннің микротолқынды қасиеттерін қолданды. Рубин FT-506 шамымен жанғанда, резонатордағы жүктеме шынымен өзгерді. Ол азайды, себебі күткендей, хром иондарының мөлшері азая бастады. Бірақ одан да маңыздысы, популяцияның базалық деңгейде 3% деңгейіне төмендеуі эксперименттік параметрлерді талдау негізінде мен болжаған шамаға жақын болды. Бұл нәтиже үлкен қуаныш әкелді, өйткені бұл модель талдауымның қолданылуын қосымша растады.

2 Эксперименталдық бөлімі

Laser Generation процесі үш өлшемді қатты денелі модельдерді жасау үшін стандартты коммерциялық қолжетімді CAD/CAM бағдарламалық қамтамасыз етуді пайдалануға арналған. Аспап қозғалысының траекториялары фокальды аймаққа, қатты металға жеткізілетін металл ұнтағының бөлшектерін қорытып, бір мезгілде бөлшектің тегіс қабатын түзетін бөлшектің барлық аймағының бойымен жүйелі түрде лазердің фокальды аймағын жылжытады.

Процесс 1-суретте схемалық түрде көрсетілген. Nd-Y AG лазер сәулесі талшықты-оптикалық арқылы лазердің фокусталған басын ұстап, «z» (тік) осіне бекітілген герметикалық бумға беріледі. Фокусталған лазер сәулесі камераға саптамадағы кварц терезесі арқылы енеді, ол металл ұнтағын фокус аймағына жеткізеді. Барлық процесс құрғақ пойызға қосылған инертті газ қорабында жүреді, ол оттегінің мөлшерін 5ppm соққыға дейін немесе одан да азға дейін төмендетеді. Схеманың жоғарғы оң жағында камераны көшіруге болатын және ұнтақ бергіші бар инертті газбен толтыруға болатын камера орналасқан. Ұнтақтағыш ұнтақты аргон ағынына қосады, ол ұнтақты лазерлік фокустау шүмегіне, содан кейін фокус аймағына жеткізеді. Anograd позициялау контроллері «x», «y» және «z» кестелерін басқарады, лазерлі ысырманы және ұнтақты бергішті қосады және өшіреді, сонымен қатар газдың әртүрлі ағынын бақылайды.



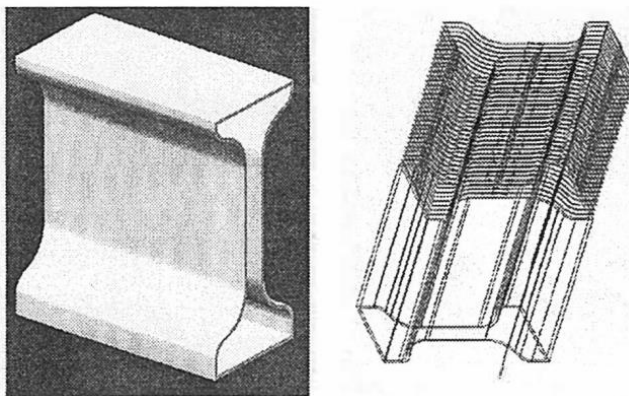
1-сурет-Laser Generation процесінің схемасы. 3D-сандық дизайн лазерлік сәулемен металл ұнтағын ерітіп, қатты модельді таза пішінге жақындататын машина командаларына айналады.

Тұндыру процесі металдан жасалған тақтайшадан басталады, ол тұндыру аяқталғаннан кейін кесіледі. Әдетте лазер сәулесінің бірнеше өтуі тақтайшаны алдын ала қыздыру және алғашқы ерітілген ұнтақ қабаттарының жақсы адгезиясына ықпал ету үшін ұнтақ берілусіз жасалады. Содан кейін ұнтақтар фокустық аймаққа жіберіледі, ал бөлік толық толтырылмаған уақытта қабатқа құйылады. Ұнтақтар ериді және ериді, себебі жылу жылу негізінен және ыстық аймақтан сәуле шығару арқылы алынады. Лазер сәулесінің фокустық аймағына жетпеген артық ұнтақ бөлшектің түбінде жиналады және оны қайта пайдалануға болады. Бөлшектердің өлшемі бұл жабдықта 3 дюймнен біршама аз болуы мүмкін. 3 ортогональды бағытта қозғалысы бар куб. Жабдықтың болашақ конструкциялары ұнтақты үздіксіз ілмектегі ұнтақтағышқа қайта өңдейді.

Үш өлшемді CAD / CAM модельдері Pro / ENGINEER және ICEM бағдарламалық жасақтамаларын қолдана отырып жасалған. Pro / ENGINEER бағдарламалық жасақтамасы жоғары интеграцияланған модельдеу ортасын қамтамасыз етеді, ол өнеркәсіпте, әсіресе жылдам прототиптер саласында үлкен қызығушылық тудырады. ICEM көптеген жылдар бойы Los Alamos-та CAD / CAM жобалаудың 30 қажеттіліктерін қолдау үшін қолданылады және CAM бағдарламалаудың кең мүмкіндіктерін ұсынады.

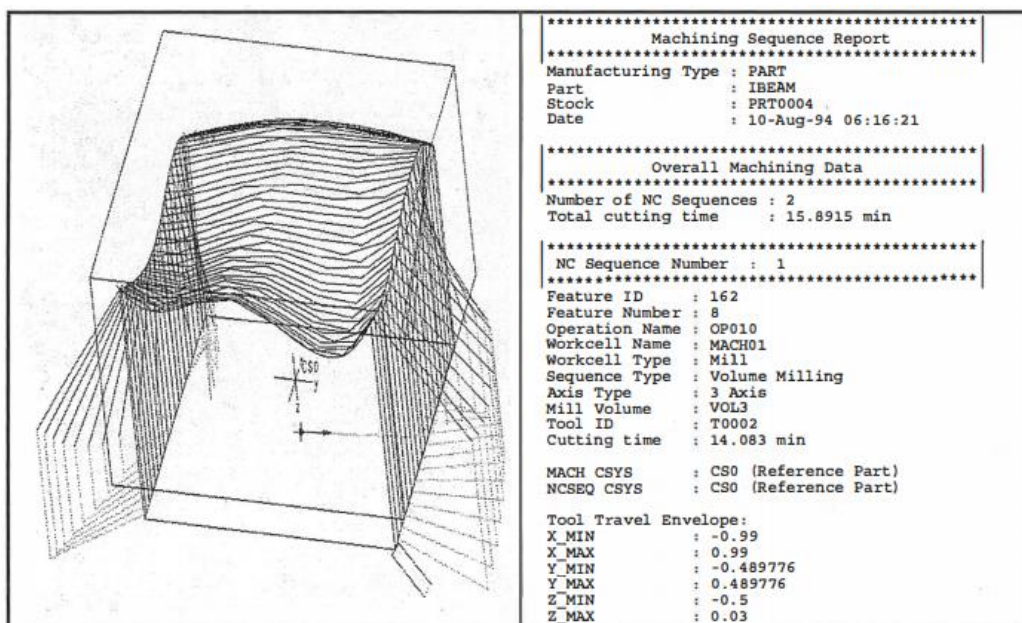
2.1 Өндірістік модельдер

Өндірістік модельдер (құрал-саймандарды) әр түрлі 30 пішінді жасалды және 2 суретте көрсетілгендей 3 осьтік DLF жүйесі үшін арнайы теңшелген процессордың көмегімен қозғалыс жүйесінің бағдарламалық кодына аударылды. 5 осьтік қозғалыс күрделі беттерге (3-сурет) және лазердің бағыттауға мүмкіндік береді, олар соңғы өлшемдер мен көлденең жазықтық бойында сақталған мүмкіндіктерге қол жеткізу үшін әрлеу өткелдерін құру үшін материалды орналастыруға мүмкіндік береді.



2-сурет - DLF процессі үшін қатты денелі модель (сол жақта) және аспап қозғалысының траекториясы (оң жақта). Толық IBeam құралы қозғалысы траекториясының көрінісінде көрсетілген бағдарлауда жасалған.

Технологиялық модельдеу әр түрлі өңдеу жағдайларын өңдеу уақытын анықтау үшін жасалды. 3 суретте осындай бір модельдеу есебінің бөлігі көрсетілген. Бұл модельдеу технологиялық ауыспалылардың әсерін анықтау үшін қолданылады, мысалы, тұндыру жылдамдығы, фокустық аймақтың мөлшері болып саналады. Сондай-ақ, бұл модельдеу компьютерлік өңдеу уақыты, файл өлшемдері және деректерді беру жылдамдығы сияқты есептеу талаптарын талдау үшін құрал болып табылады.

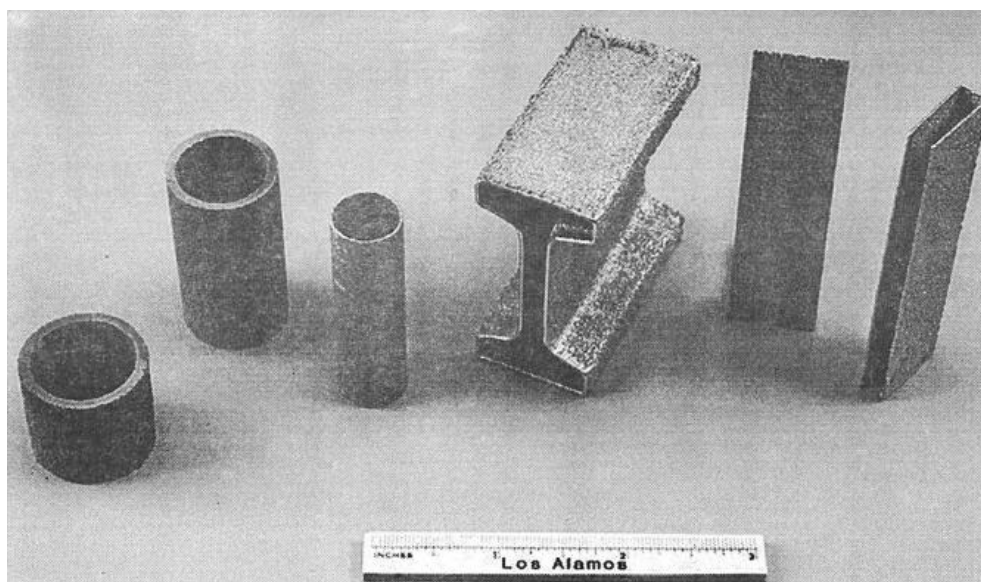


3-сурет- (сол жақта) күрделі бет бойынша құрал қозғалысының 5 осьтік траекториясы. (Оң)процесті моделдеу туралы есептің бөлігі.

Қайта өңделген технологиялық процесстің әдіснамасына негізделген өндірістік модельдер жасалады. САМ бағдарламалық қамтамасыздандыруын стандартты емес пайдалану бөлікке негізделген қосымша әдісті қолданады, онда бөліктің түпкі пішінін дәйекті жүзеге асыру үшін қосымша мүмкіндіктер қосылады. Модельдеу сонымен бірге күрделене түсетін бөліктерді іске асыру үшін қажет САМ процедураларын зерттеу және дамыту үшін қолданылады. Бұл дамып келе жатқан құрастыру әдістемесі тексеріліп, 30 бөліктен тұрады. Laser Generation процесіне тән командалар мен тәртіптерді қосымша бақылау құралдарына біріктіру жүзеге асырылуда. Laser Generation процесіне тән бағдарламалық жүйені анықтау және әзірлеу үшін CAD / САМ интерфейсі және өндеуден кейінгі мүмкіндікті теңшеу жүзеге асырылуда.

3 Нәтижелер және талқылау

Laser Generation процесінде жасалған бөлшектердің сынамалары 4-суретте көрсетілген. Толығымен тығыз металл түтіктер, каналдар, тақталар, төменгі I-сәулелер мен шыбықтар 316ss жасалған. Бұл бөліктер тегіс, тегіс және қабырға қалыңдығында біркелкі. Барлық бөліктер лазер сәулесінің осіне параллель тік (z) бағытта орналастырылды.



4-сурет- 316SS-тен жасалған Laser Generation типтік бөлшектері біркелкі кедір-бұдыр беті, тік жақтары және толығымен тығыз.

4-суретте 316ss шөгінділерінің микроқұрылымдары толығымен тығыз, көрсетілгендей, тік пластиналы шөгіндінің көлденең қимасы үшін. Тұндырылған қабаттар құрылымда пайда болады және қабат шекараларында құрылымның бұрышының өзгеруімен анықталады.

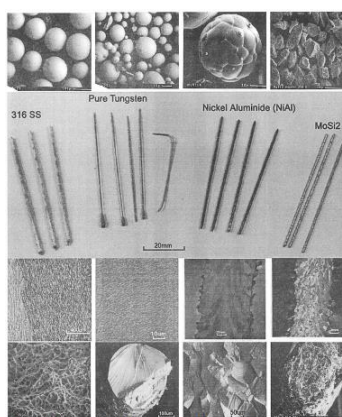
Бұрыш-бұл шоғырға қатысты лазерлік сәуленің қозғалыс бағытына сәйкес келетін алдыңғы қабаттың кері жағы. Үздіксіз эпитаксиалды өсу көптеген қабаттарда жиі кездеседі. Виккерстің қаттылығын барлық шөгінді бойынша өлшеу және тік пластиналы шөгіндінің жоғарғы және төменгі бөліктерінде 316ss құрамын талдау 6 суретте көрсетілген, бұл барлық біртектілікті көрсетеді. Қабаттан қабатқа дейінгі шөгінділерде немесе биіктігі 2 дюйм тік плитаның дөңесінің үстіне элементтердің едәуір сарқылуы байқалмаған.

| Vickers Hardness | Composition | Cr | Fe | Ni | Mo | |
|------------------|-------------|----|----|-----|-----|-----|
| | | A | 21 | 68 | 9.8 | 1.4 |
| | B | 21 | 68 | 9.5 | 1.5 | |
| | C | 21 | 69 | 9.3 | 1.5 | |
| | D | 21 | 68 | 9.7 | 1.2 | |
| | E | 21 | 69 | 8.9 | 1.2 | |
| | F | 21 | 69 | 9.5 | 1.2 | |
| | G | 21 | 68 | 9.6 | 1.3 | |
| | H | 21 | 69 | 8.9 | 1.2 | |
| | I | 21 | 68 | 9.4 | 1.4 | |
| | J | 21 | 68 | 9.1 | 1.4 | |
| | A | 21 | 68 | 9.3 | 1.4 | |
| | B | 21 | 68 | 9.0 | 1.4 | |
| | C | 21 | 68 | 9.4 | 1.3 | |
| | D | 21 | 69 | 9.1 | 1.1 | |
| | E | 21 | 69 | 9.4 | 1.4 | |
| | F | 21 | 68 | 9.6 | 1.0 | |
| | G | 21 | 69 | 8.9 | 1.6 | |
| | H | 21 | 68 | 9.2 | 1.4 | |
| | I | 21 | 68 | 9.5 | 1.2 | |
| | J | 21 | 68 | 9.5 | 1.5 | |

6-сурет- Виккерс қаттылығы және тік қабырғалық шөгіндінің элементтік талдауы 316SS үшін микроқұрылымдағы қабаттар мен шөгіндінің жоғарғы және төменгі бөліктерінде аздаған айырмашылықты көрсетеді.

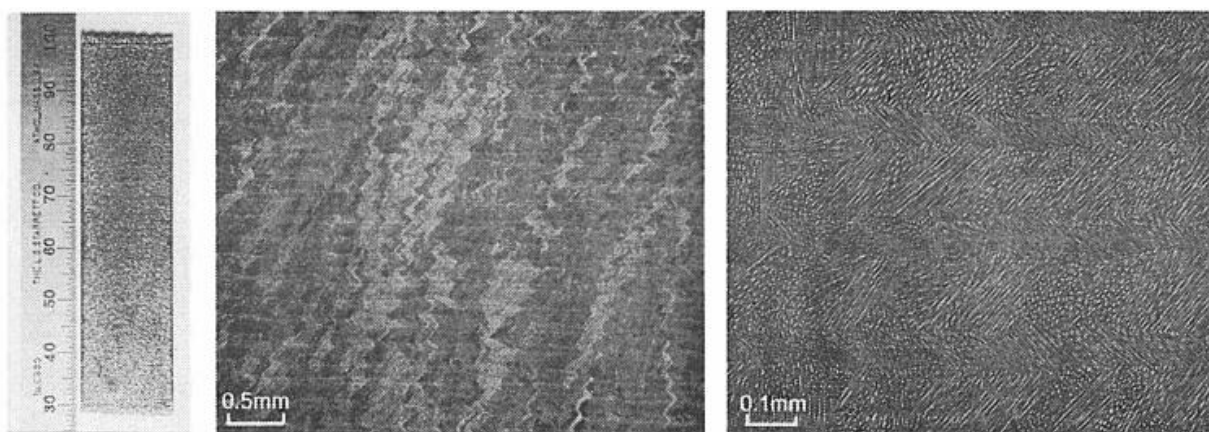
3.1 Laser Generation өңделген үлгілердегі микроқұрылымдық талдау

Laser Generation өңделген үлгілердегі микроқұрылымдық даму әдетте тұрақты / морфологияны және тез қатаю кинетикасын көрсететін тазартылған бөлу ерекшеліктерін көрсетеді. Үздіксіз микроқұрылымдық ерекшеліктер 316 тот баспайтын болаттан жасалған өзек үшін 8 суретте көрсетілген.



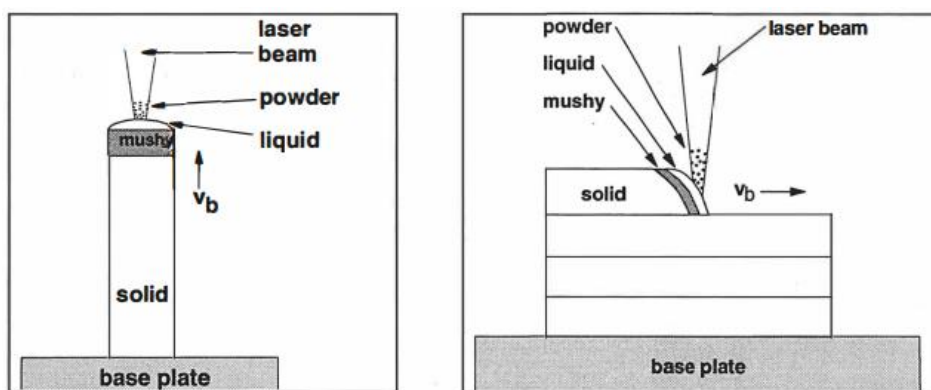
8-сурет- FDM процесінде балқытылған филаменттің баспадағы схемалық құрлысы

Қатты / сұйық интерфейстің схемалық диаграммасы 7 суретте көрсетілген. Шамасы, қорытпаның жұқа балқытылған қабаты өзектің жоғарғы жағында орналасқан, ал процесс барысында қатты дендриттер үнемі өсіп тұрады (шырышты аймақта). Әрине, егер балқытылған аймақ тым үлкен болса, процестің тұрақтылығы мен тұтастығы төмендейді. Сондықтан өңделетін айнымалылар біркелкі компоненттерді шығаруда өте маңызды. Сол сияқты, тұрақты сәулелік / сұйық интерфейс бірнеше сәулелік өту арқылы шығарылған қабырға үлгілерінде болады.



5-сурет- Лазердің фокустық аймағын оның ені бойынша алға және артқа жылжыту жолымен алынған тік қабырғалық шөгіндінің металлографиясы толық тығыз аустениттік құрылымды көрсетеді.

Қабаттар әрбір лазерлік өтуге сәйкес келеді және қабаттың шекарасында құрылымның катаю бұрышының өзгеруімен сызылады. Кристалдардың эпитаксиалды өсуі бір шөгінді қабаттан екіншісіне жиі жүреді, келесі өту жолында кері бұрышын жасап, көптеген шөгінді қабаттары арқылы із қалдырды. Қабырғаның үздіксіз микроқұрылымдық ерекшеліктері 5-суретте көрсетілген және 7-суретте схемалық түрде көрсетілген.



7-сурет- Өзек пен пластинаны қалыптастыру схемасы. Өзек тігінен жылжиды, ал пластина бір рет көлденең жылдамдықпен қабат жасайды (v_b)

Алдыңғы қатты интерфейсін эпитаксиалды өсуінің күшті дәлелдерін әр сәуленің өтуімен, қатты / сұйық интерфейсін болуын қолдай отырып байқауға болады. Laser Generation процесінде өндірілген тұрақты интерфейсін толығымен тығыз компоненттерді береді. Бұл балқытылған тамшы қатты субстратқа әсер етпейтін таза нысандағы сұйық ұнтақты (мысалы, термиялық шашырату) басқа әдістеріне қарама-қайшы келеді, соның салдарынан дақтардың бос жерлеріне және басқа да кеуек ақауларына байланысты құрылымдық тұтастықтың деградациясы жоқ.

Стержендер мен пластиналарда бақыланатын тазартылған дендритті микроқұрылымдар қатаю кезінде салқындату жылдамдығы өте жоғары екенін көрсетеді. Сондықтан да қол жетімді салқындату жылдамдығын бағалау үшін Laser Generation процессінің көмегімен алынған темір үлгілерінің дендритті иықтары (DAS) арасындағы қашықтықтар бағаланды. DAS және салқындату жылдамдығы (ϵ) арасындағы қатынастар әртүрлі қорытпалар жүйелері үшін әзірленген және $\log DAS$ және $\log \epsilon$ (2) арасындағы сызықтық тәуелділікті көрсетеді. Пластиналы және өзекті формада екі қорытпа бағаланды: Fe-25wt.% Ni және 316 тот баспайтын болат. Бастапқы DAS (λ_1) және екінші DAS (λ_2) және Fe-25wt.% Ni үшін зерттелді, теңдеу түрі бар $\lambda_1 = 190\epsilon^{0.5}$ (3) және $\lambda_2 = 60\epsilon^{-0.32}$ (4). 316 типті тот баспайтын болат үшін тот баспайтын болаттан (6) тез қатаюды басқа зерттеуде қолданылған (5) эксперименталды белгілі бір қатынастар келтірілген. $\lambda_1 = 80\epsilon^{-0.33}$ және $\lambda_2 = 25\epsilon^{-0.28}$. Екі теңдеулер жинағында де дендрит арасындағы қашықтық микрондарда, ал салқындату жылдамдығы К/с бірліктерінде көрсетіледі.

Fe-25% Ni сымының үлгілері әр түрлі өңдеу жағдайларында зерттелді, және де бастапқы DAS 5 мкм-ден 30 мкм-ге дейін, ал екінші DAS-5 мкм-ден 1 2,5 мкм-ге дейін түрленеді. Сондықтан тұрақты өзектерді ~50 К/с-дан 10^3 К/с -ға дейін түрленетін салқындату жылдамдығымен өсіруге болады. Өзекшелердің көпшілігі 10^2 К/с режимінде салқындатылады. Fe-25% Ni пластиналарының үлгілері үшін салқындату жылдамдығы 10^3 - 10^4 К/с шегінде өзгеріп отырды, және де пластиналардың көпшілігі 10^4 К/с шамасында салқындату жылдамдығын анықталды. Лазерлік сәуле төсеніш арқылы өтетін кезде, лазерлік сәуледен алыс негізгі массасы келесі сәуле өту циклінің алдында қалуға жеткілікті уақыт бар. Үлкен температуралық градиент (өзектің өсу процесімен салыстырғанда) өткізуші салқындату үшін үлкен қозғаушы күш береді. Көлденең сәуледен өту кезінде кері балқыманың аймағы әдетте 2 микроннан кем болды.

Тот баспайтын болаттың 316 үлгісі үшін $\sim 10^2$ К/с кезінде өзектерді салқындату жылдамдығымен және $\sim 10^4$ К/с кезінде пластиналарды салқындату жылдамдығымен Fe-25% Ni үшін ұқсас нәтижелер алынды. Азайтылған толық тығыз микроқұрылымдарды алуға болады, ал тез қатаю кезінде алынған тазартылған микроқұрылымдар қара қорытпаларда жоғары механикалық қасиеттерді береді (7). Алайда, балқыманы иіру, шашырату немесе ұнтақты бүрку сияқты тез қатаю процестерінің көпшілігіне қарағанда, Laser Generation болады. Сонымен қатар, термиялық тозаңдану сияқты прототиптің басқа әлеуетті жылдам әдістерімен салыстырғанда, толық тығыз және біркелкі микроқұрылымды дамуға қол жеткізуге болады.

Бірнеше түрлі материалдар DLF процесі тот баспайтын болаттан басқа материалдарды өңдеу үшін қолданылуы мүмкін екенін көрсету үшін пайдаланылды. Өзектер таза вольфрам мен екі қосылыстардан: никель алюминий (NiAl) және молибден қосындысы (MoSi_2) тұнған. - 8 суретте бастапқы ұнтақтардың, өзекшелердің, соның ішінде 316ss-тен жасалған, микроқұрылымдардың және әр түрлі төрт өзекшелердің әрқайсысына қирау беттерінің суреттері көрсетілген. Барлық дайындалған стержендер толығымен тығыз болды. Екі металл өте нәзік болды және бөлме температурасында майысу кезінде сынған, бұл әдеттегі өңдеу кезінде осы материалдарға тән. Екі микроқұрылым да өзек осі бойымен ірі бағаналы дән көрсетті. Ниай кен орнында кейбір саңылаулар арасындағы жарылу байқалды. Вольфрам өзегін Laser Generation әдісімен жаққаннан кейін бір рет бұгуге болады, және кесілген кезде беті өте нәзік бұзылу үшін типтік болды. Вольфрамның микроқұрылымы әдеттегі өңделген өзекшелермен салыстырғанда өте жұқа болды (8). 316ss өзегі өте иілгіш бүліну беті бар жұқа құйма микроқұрылым болды.

Бұл басқа материалдарды өңдеу Laser Generation процесі әдеттегі өңдеуден ерекшеленетін қасиеттерді шығара алады. Мысалы, вольфрам сым әдетте вольфрам ұнтағын тығыздау және кеуекті құрылымға дейін пісіру арқылы жасалады. Кеуектілік металл өңдеу (созу, қысу) және күйдіру (9) бірнеше рет циклдарымен жойылады. Laser Generation процесі бір процесте толық тығыз вольфрамды өзек жасады. Ұқсас салыстыруларды NiAl және MoSi_2 үшін жүргізуге болады. Бұл материалдар жентектеу немесе реактивті жентектеу және ыстық изостатикалық престеу (10, 11) әдістерімен өңделеді, онда Laser Generation процесі материалдарды (кем дегенде өзектер үшін) бір сатыда қалыптастыра алады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Laser Generation процесі өңдеудің бір кезеңінде толық тығыз дерлік таза металл компоненттерді шығара алады. Қатты үлгілерден құралған құралдың қозғалыс траекториялары фокальды аймаққа түсетін металл ұнтағының бөлшектерін балқытатын лазерлік сәулемен бөлшектердің көлденең қимасын дәл қадағалау үшін қолданылады және қатаю кезінде бөлшектердің жазық көлденең қимасын білдіретін тұнбаларды құрайды. Бөлшекті аяқтағанға дейін көлденең қиманың бірнеше қабаты қалыптасады. Кәдімгі өңдеу осы бір кадамдық техникамен өтеді. Микроқұрылымдық ерекшеліктер өзектерді салқындату жылдамдығы 10^2 К/с, ал пластин- 10^4 К/с сыналған қорытпалар үшін 316ss, сондай-ақ Fe-25Ni қорытпалар үшін екенін көрсетеді. Өсу механизмі Қатты денені-1-ден 10 мм/с дейінгі өсу жылдамдығымен толық тығыздық компонентінің пайда болуына әкелетін сұйықтықты бөлудің үздіксіз шекарасын қамтиды.

ПАЙДАЛАНЫЛГАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Wang K.Y., Wang J.T., Quan M.X., Wei W.D. Ball Milling of the Partial Amorphous Fe₇₈Si₁₂B₁₀ Alloy // Mechanical Alloying. Materials Science Forum, Kyoto, Japan / Trans. Tech. Publication c/o Ashgate Publishing Company, USA. – 1992. – P.283-288.
- 2 Yasa E. et. al. The investigation of the influence of laser re-melting on density, surface quality and microstructure of selective laser melting parts // Rapid Prototyping Journal. – 2011. – Vol. 17. – Iss: 5. – P. 312-327.
- 3 Yasa E., Kruth J. Application of laser re-melting on Selective laser melting parts. Catholic University of Leuven, Dept. of Mech. Eng, Heverlee, Belgium. Advances in Production Engineering & Management 6 (2011) 4, 259-270, Scientific paper [Электронный ресурс]. URL: <https://lirias.kuleuven.be>
- 4 Shingu P.H. Mechanical Alloying. Proceedings of the Int. Symp. on Mechanical Alloying, Kyoto, Japan // Trans. Tech. Publications c/o Ashgate Publishing Co., Brookfield, USA. – 1992. – P.828.
- 5 Schwartz R.B., Srinivasan S., Desh P.B. Synthesis of Metastable Aluminium-Based Intermetallics by Mechanical Alloying // Mechanical Alloying. Materials Science Forum, Kyoto, Japan / Trans. Tech. Publication c/o Ashgate Publishing Co., USA. – 1992. – P. 595-602.
- 6 Sabina L. Campanelli et. Al. Capabilities and Performances of the Selective Laser Melting Process. Polytechnic of Bari, Department of Management and Mechanical Engineering, Viale Japigia, 182 Italy [Электронный ресурс]. URL: <http://cdn.intechweb.org/pdfs/12285.pdf>.